

**LAJU BIODEGRADASI ALAMIAH KOPROSTANOL
PADA SEDIMEN LINGKUNGAN SUNGAI, MUARA,
DAN PERAIRAN PANTAI
(Studi Kasus : Jakarta, Semarang, dan Jepara
pada Kondisi Musim Hujan)**



Tesis

Hartadi Prasetyo
L4K003006

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2005**

TESIS

LAJU BIODEGRADASI ALAMIAH KOPROSTANOL PADA SEDIMEN LINGKUNGAN SUNGAI, MUARA, DAN PERAIRAN PANTAI (Studi Kasus : Jakarta, Semarang, dan Jepara pada Kondisi Musim Hujan)

Disusun Oleh

Hartadi Prasetyo
L4K003006

Menyetujui :

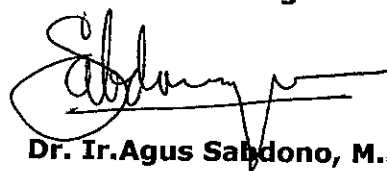
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



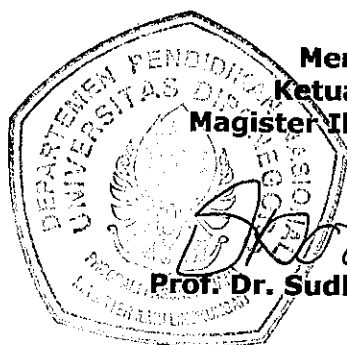
Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc

Pembimbing II



Dr. Ir. Agus Saldono, M.Sc

Mengetahui
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan




Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

Judul Tesis : Laju Biodegradasi Alamiah Koprostanol Pada Sedimen Lingkungan Sungai, Muara, Dan Perairan Pantai (Studi Kasus : Jakarta, Semarang, dan Jepara pada Kondisi Musim Hujan)

Nama Mahasiswa : HARTADI PRASETYO

Nomor Mahasiswa : L4K003006

Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Konsentrasi : Managemen Lingkungan

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 7 Maret 2005
Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk diterima**

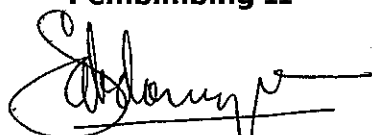
Menyetujui :

Pembimbing I



Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc

Pembimbing II



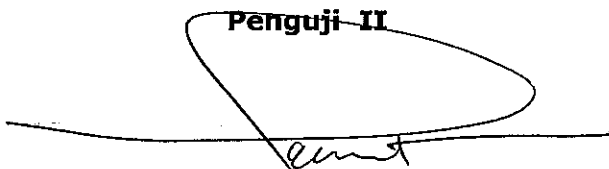
Dr. Ir. Agus Sabdono, M.Sc

Penguji I



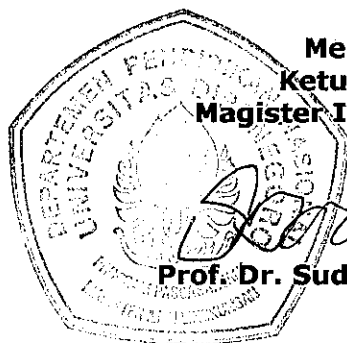
Prof. Dr. Sri Mulyani

Penguji-II



Dr. Ir. Purwanto, DEA

**Mengetahui
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan**



Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

BIO DATA PENULIS

Hartadi Prasetyo, dilahirkan di Sleman, Yogyakarta pada tanggal 20 April 1972. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) pada tahun 1996 di Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Pada tahun 1997 hingga tahun 1998 bekerja di salah satu BUMN anak perusahaan PT TELKOM, yaitu PT Infomedia Nusantara kantor cabang Surabaya sebagai Staf Marketing. Pada tahun 1998 diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) dan ditempatkan di Dinas Peternakan Propinsi Jawa Tengah sebagai Staf Perencana sampai saat ini. Kursus-kursus yang pernah diikuti antara lain : The Youth Invitation Programme di Osaka, Jepang, Total Quality Management Program Deliveri dari DFID (Department For International Development), Kursus Model Input-Output untuk perencana dari UNDIP. Pada tahun 2003 mendapatkan beasiswa dari Pemerintah Daerah Propinsi Jawa Tengah untuk melanjutkan pendidikan Pasca Sarjana di Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Tesis dengan judul "Laju Biodegradasi Alamiah Koprostanol Pada Sedimen Lingkungan Sungai, Muara, dan Perairan Pantai (studi kasus : Jakarta, Semarang, dan Jepara pada kondisi musim hujan)" yang merupakan program Hibah Penelitian Terpadu Pasca Sarjana (HPTP) dari Ditjen DIKTI, telah berhasil diselesaikan pada tahun 2005.

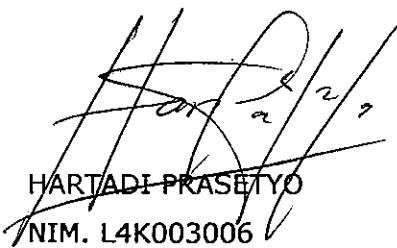
PERNYATAAN

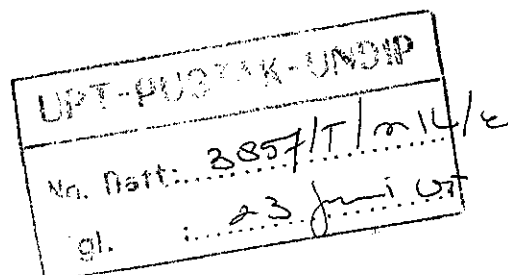
Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjaan atau magister di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan dalam tulisan dan daftar pustaka dan isi Tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Semarang, 7 Maret 2005

Penulis


HARTADI PRASETYO
NIM. L4K003006



KATA PENGANTAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi tugas akhir pada Program Pasca Sarjana Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Tesis ini merupakan rangkaian akhir dari persyaratan dalam mencapai gelar Magister Science (S2) yang telah diseminarkan dan mendapat tanggapan, koreksi dan penyempurnaan.

Tesis yang berjudul "Laju Biodegradasi Alamiiah Koprostanol Pada Sedimen Lingkungan Sungai, Muara, dan Perairan Pantai (Studi Kasus: Jakarta, Semarang, dan Jepara pada Kondisi Musim Hujan)" merupakan program penelitian Hibah Penelitian Terpadu Pasca Sarjana Tahun II yang dibiayai oleh Ditjen DIKTI yang dimaksudkan untuk membantu percepatan masa studi bagi mahasiswa Program Pasca Sarjana Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Penelitian ini telah mendapatkan bimbingan serta arahan penyempurnaan isi dan tulisan sekaligus persetujuan dari dosen pembimbing dan penguji.

Untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

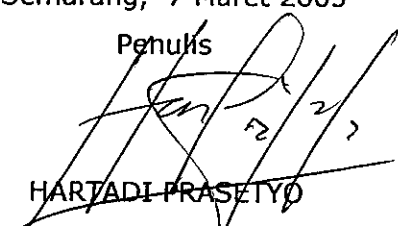
1. Prof. Dr. Sudharto. P. Hadi, MES sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan;
2. Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc sebagai dosen pembimbing I;
3. Dr. Ir. Agus Sabdono, M.Sc sebagai dosen pembimbing II;
4. Dr. Ir. Purwanto, DEA dan Ir. Agus Hadiyanto, MT sebagai pengelola Program Magister Ilmu Lingkungan;
5. Kepala Dinas Peternakan Propinsi Jawa Tengah sebagai Instansi kerja dimana saya mengabdikan yang memberikan ijin untuk melanjutkan studi Program Pasca Sarjana;
6. Kepala Badan Kepegawaian Daerah Propinsi Jawa Tengah yang memberikan beasiswa untuk melanjutkan studi Program Pasca Sarjana;
7. Ditjen DIKTI melalui Program HPTP yang memberikan kesempatan untuk mengikuti penelitian dan bantuan biaya;
8. Kedua orang tua, istri, anak dan kakak adik tercinta atas semangat, dorongan serta doanya.
9. Para dosen, pengelola dan karyawan Program Magister Ilmu Lingkungan yang membimbing dan memberikan saran selama mengikuti studi.
10. Teman-teman Program HPTP yang bersama-sama bekerjasama dalam penelitian.

11. Teman-teman kuliah Magister Ilmu Lingkungan angkatan ke VIII tahun 2003 yang selama perkuliahan banyak memberikan kenangan yang indah.

Semoga segala kebaikan dan ketulusan Bapak/Ibu/Saudara dalam membantu penyelesaian Tesis ini mendapatkan imbalan dari Allah SWT, Amien.

Semarang, 7 Maret 2005

Penulis



HARTADI PRASETYO

NIM. L4K003006

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Kegunaan Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Landasan Teori	4
2.1.1. Pencemaran Limbah Domestik	4
2.1.2. Indikator Pencemaran Limbah Domestik	5
2.1.3. Koprostanol Sebagai Indikator Kontaminasi	6
2.1.4. Koprostanol (5β -cholestan- 3β -ol)	7
2.1.5. Pembentukan Koprostanol	8
2.1.6. Biodegradasi Koprostanol	9
2.1.7. Sedimen	11
2.1.8. Musim Penghujan	13
2.2. Rona Lingkungan Daerah Penelitian	13
2.2.1. Lokasi Penelitian Jakarta	13
2.2.2. Lokasi Penelitian Semarang	14
2.2.3. Lokasi Penelitian Jepara	15
2.3. Originalitas Penelitian	16
2.4. Hipotesis	17
BAB III. METODA PENELITIAN	18
3.1. Rancangan Penelitian	18
3.2. Ruang Lingkup Penelitian	20
3.3. Lokasi Penelitian	20
3.4. Variabel Penelitian/Parameter yang Diamati	24
3.5. Jenis dan Sumber Data Penelitian	24
3.6. Instrumen Penelitian	25

3.7.	Teknik Pengambilan Sampel	25
3.8.	Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	26
3.8.1	Tahapan Analisis Koprostanol.....	26
3.8.2.	Perhitungan Analisis Koprostanol	28
3.8.3	Tahapan Analisis Organik Total Sedimen.....	29
3.8.4	Tahapan Penentuan Ukuran dan Jenis Sedimen	31
3.8.5	Analisis Statistik	33
BAB IV.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1.	Hasil Penelitian	34
4.1.1.	Lokasi Penelitian Jakarta	34
4.1.2.	Lokasi Penelitian Semarang	41
4.1.3.	Lokasi penelitian Jepara	48
4.2.	Hasil Analisis Statistik Penelitian	55
4.3.	Pembahasan	56
4.3.1	Laju Biodegradasi Alamiah Koprostanol Ditinjau Dari Tipologi Kota	56
4.3.2	Laju Biodegradasi Alamiah Koprostanol Ditinjau Dari Kondisi Lingkungan	60
4.3.3.	Potensi Koprostanol Sebagai Indikator Alternatif	64
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		69

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Jakarta	14
Tabel 2.	Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Semarang	15
Tabel 3.	Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Jepara	16
Tabel 4.	Jenis dan Sumber Data Penelitian	24
Tabel 5.	Alat dan Bahan penelitian	25
Tabel 6.	Posisi Stasiun Penelitian Lokasi Jakarta	34
Tabel 7.	Data Kualitas Perairan di Lokasi Penelitian Jakarta	34
Tabel 8.	Laju Biodegradasi Koprostanol Lokasi Jakarta	39
Tabel 9.	Kandungan Organik Total dan Ukuran Butir Sedimen Di Lokasi Penelitian Jakarta	41
Tabel 10.	Posisi Stasiun Penelitian Lokasi Semarang	41
Tabel 11.	Data Kualitas Perairan di Lokasi Penelitian Semarang	41
Tabel 12.	Laju Biodegradasi Koprostanol Lokasi Semarang	46
Tabel 13.	Kandungan Organik Total dan Ukuran Butir Sedimen Di Lokasi Penelitian Semarang	48
Tabel 14.	Posisi Stasiun Penelitian Lokasi Jepara	48
Tabel 15.	Data Kualitas Perairan di Lokasi Penelitian Jepara	48
Tabel 16.	Laju Biodegradasi Koprostanol Lokasi Jepara	53
Tabel 17.	Kandungan Organik Total dan Ukuran Butir Sedimen Di Lokasi Penelitian Jepara	55
Tabel 18.	Pengaruh Tipologi Kota Terhadap Laju Biodegradasi Koprostanol Secara Alamiah	55
Tabel 19.	Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Laju Biodegradasi Koprostanol Secara Alamiah	55
Tabel 20.	Pengaruh Perlakuan Aerasi dan Non Aerasi Terhadap Laju Biodegradasi Koprostanol Secara Alamiah	55
Tabel 21.	Pengaruh Tipologi Kota Terhadap Jumlah Organik Total (TOC) Di Sedimen	56
Tabel 22.	Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Jumlah Organik Total (TOC) di Sedimen	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Kimia Koprostanol.....	8
Gambar 2.	Jalur Pembentukan Koprostanol.....	8
Gambar 3.	Diagram Alir Tahapan Penelitian	19
Gambar 4.	Lokasi Pengambilan Sampel di Jakarta	21
Gambar 5.	Lokasi Pengambilan Sampel di Semarang	22
Gambar 6.	Lokasi Pengambilan Sampel di Jepara	23
Gambar 7.	Tahapan Analisis Koprostanol	27
Gambar 8.	Tahapan Analisis Organik Total Sedimen	30
Gambar 9.	Tahapan Penentuan Ukuran dan Jenis Sedimen	32
Gambar 10.	Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Rasio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Sungai Lokasi Jakarta	36
Gambar 11.	Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Rasio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Muara Lokasi Jakarta	37
Gambar 12.	Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Rasio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Perairan Pantai Lokasi Jakarta	38
Gambar 13.	Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Perlakuan Aerasi Lokasi Jakarta	39
Gambar 14.	Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Perlakuan Non Aerasi Lokasi Jakarta	40
Gambar 15.	Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Lokasi Jakarta	40
Gambar 16.	Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Rasio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Sungai Lokasi Semarang	43
Gambar 17.	Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Rasio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Muara Lokasi Semarang	44
Gambar 18.	Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Rasio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Perairan Pantai Lokasi Semarang	45
Gambar 19.	Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Perlakuan Aerasi Lokasi Semarang	47
Gambar 20.	Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Perlakuan Non Aerasi Lokasi Semarang	47
Gambar 21.	Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Lokasi Semarang	47

Gambar 22. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Ratsio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Sungai Lokasi Jepara	50
Gambar 23. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Ratsio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Muara Lokasi Jepara	51
Gambar 24. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) dan Ratsio Koprostanol/TOC (b) Pada Sedimen Perairan Pantai Lokasi Jepara	52
Gambar 25. Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Perlakuan Aerasi Lokasi Jepara	53
Gambar 26. Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Perlakuan Non Aerasi Lokasi Jepara	54
Gambar 27. Grafik Laju Biodegradasi Koprostanol Lokasi Jepara	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil Pengukuran Biodegradasi Alamiah Koprostanol	69
Lampiran 2.	Hasil Analisis Grain Size	75
Lampiran 3.	Hasil Analisis Total Organik Sedimen	76
Lampiran 4.	Data Pengamatan Jakarta	77
Lampiran 5.	Data Pengamatan Semarang.....	78
Lampiran 6.	Data Pengamatan Jepara	79
Lampiran 7.	Parameter Fisika Perairan	80
Lampiran 8.	Parameter Kimia Perairan	82
Lampiran 9.	Hasil Analisis Statistik Koprostanol	83
Lampiran 10.	Hasil Analisis Statistik TOC	103
Lampiran 11.	Hasil Analisis Statistik Korelasi Koprostanol dan TOC	104
Lampiran 12.	Foto-Foto Hasil Penelitian	105

Abstract

Domestic waste is one of the major sources of the pollution in coastal waters of most developing countries, which has got less attention than industrial pollution. However, along with the increase of human activities in coastal areas coupled with the importance of clean environment for the health, esthetics, and ecological reasons, the detection of waste contamination has become important to be recognized.

The indicator of domestic waste contamination are intestinal microorganism, especially coliform bacteria. The microbial characteristic such as low tolerance against toxic substances high temperature, and salinity have been the major problem in using indicator organism. Therefore, alternative indicator is needed to solve the problem.

Coprostanol is a proposed alternative indicator in detecting domestic waste, it is definitely important to study the persistence of coprostanol for alternative indicator with accelerate natural biodegradation of coprostanol for sediment at environmental condition of rivers, estuarine, and coastal at different areas with various cities typology (Metropolitan, Big City and Small City).

The research are carried out from March-April 2004 at environmental waters of rivers, estuarine, and coastal of Ciliwung Jakarta, Banjir Kanal Timur Semarang, and Demaan, Jepara. The laboratory research are carried out from March-Mei 2004 at laboratory Faculty of Fishery and Marine, Diponegoro University. Preparation for coprostanol, TOC and grain size are carried out from Juny-September 2004 Marine Laboratory Jepara, and concentration coprostanol for U.V. Spektro at Laboratory Organic Chemical Faculty Mathematic and Natural Science, Gadjah Mada University.

The result showed that coprostanol was detected in sediment samples at three environment condition and at three cities typology. The accelerate natural biodegradation of coprostanol for typology cities : The Metropolitan, the high accelerate natural biodegradation of coprostanol for environmental condition waters of coastal ($0.324-0.505 \mu\text{g/g/hari}$), then environmental condition waters of rivers ($0.009-0.103 \mu\text{g/g/hari}$), and environmental condition waters of estuarine ($0.0003-0.140 \mu\text{g/g/hari}$). The Big Cities , the high accelerate natural biodegradation of coprostanol for environmental condition waters of coastal ($0.151-0.413 \mu\text{g/g/hari}$), then environmental condition waters of rivers ($0.034-0.096 \mu\text{g/g/hari}$), and environmental condition waters of estuarine ($0.004-0.031 \mu\text{g/g/hari}$). The Small Cities , the high accelerate natural biodegradation of coprostanol for environmental condition waters of estuarine ($0.209-0.456 \mu\text{g/g/hari}$), then environmental condition waters of coastal ($0.194-0.319 \mu\text{g/g/hari}$), and environmental condition waters of rivers. ($0.163-0.211 \mu\text{g/g/hari}$).

Key Word : Coprostanol, Domestic Waste, Persistence, Accelerate Biodegradation

Ringkasan

Limbah domestik merupakan salah satu sumber utama pencemaran di perairan pantai pada negara yang sedang berkembang yang masih kurang mendapatkan perhatian serius bila dibandingkan dengan pencemaran industri. Namun dengan terus meningkatnya aktifitas manusia di wilayah pesisir dan kesadaran akan pentingnya lingkungan bersih bagi kesehatan, estetika dan alasan ekologis lainnya, deteksi tentang kontaminasi limbah menjadi penting untuk diketahui secara lebih baik.

Selama ini indikator kontaminasi limbah domestik ditentukan berdasarkan jumlah mikroorganisme intestinal khususnya kelompok bakteri *coliform*. Sifat mikroorganisme yang mempunyai toleransi yang rendah terhadap tekanan lingkungan seperti bahan toksik suhu tinggi, dan salinitas merupakan permasalahan utama organisme indikator, sehingga indikator alternatif sangat diperlukan.

Koprostanol diusulkan sebagai alternatif indikator limbah domestik, sehingga diperlukan kajian persistensi koprostanol sebagai persyaratan kelayakannya sebagai indikator dengan menguji laju biodegradasi koprostanol secara alamiah pada sedimen dengan kondisi lingkungan sungai muara dan perairan pantai serta pada tipologi kota metropolitan, besar dan kecil.

Penelitian lapangan dilakukan pada bulan Maret-April 2004 pada lingkungan sungai, muara, dan perairan pantai sungai Ciliwung Jakarta, Banjir Kanal Timur Semarang, serta sungai Demaan Jepara. Penelitian akuarium dilakukan pada bulan Maret-Mei 2004 di Laboratorium Terpadu Fakultas Perikanan dan Kelautan Undip, preparansi sampel untuk koprostanol, TOC dan grain size dilakukan pada bulan Juni-September 2004 di Laboratorium Kelautan Jepara, dan penentuan konsentrasi koprostanol dengan U.V. Spektro di laboratorium Kimia Organik FMIPA UGM.

Hasil menunjukkan bahwa koprostanol dapat terdeteksi pada sedimen di ketiga kondisi lingkungan dan ketiga tipologi kota. Laju Biodegradasi koprostanol ditinjau dari tipologi kota : Perairan Kota metropolitan (Jakarta), tertinggi pada kondisi lingkungan perairan pantai ($0.324-0.505 \mu\text{g/g/hari}$), disusul kondisi lingkungan sungai ($0.009-0.103 \mu\text{g/g/hari}$), dan terendah kondisi lingkungan muara ($0.0003-0.140 \mu\text{g/g/hari}$). Perairan Kota Besar (Semarang), tertinggi pada kondisi lingkungan perairan pantai ($0.151-0.413 \mu\text{g/g/hari}$), disusul kondisi lingkungan sungai ($0.034-0.096 \mu\text{g/g/hari}$), dan terendah kondisi lingkungan muara ($0.004-0.031 \mu\text{g/g/hari}$). Perairan Kota Kecil (Jepara), tertinggi pada kondisi lingkungan muara ($0.209-0.456 \mu\text{g/g/hari}$), disusul kondisi lingkungan perairan pantai ($0.194-0.319 \mu\text{g/g/hari}$), dan terendah kondisi lingkungan sungai ($0.163-0.211 \mu\text{g/g/hari}$).

Kata kunci : Koprostanol, Limbah Domestik, Persistensi, Laju Biodegradasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi manusia makin menyadari arti pentingnya laut. Laut menjadi faktor yang menentukan terlaksananya perekonomian suatu negara terutama bagi negara yang berhubungan langsung dengan laut atau dikelilingi oleh laut seperti negara Indonesia.

Pemanfaatan wilayah pesisir dan lautan terus berkembang secara pesat dan lebih bervariasi. Wilayah pesisir dan lautan juga digunakan untuk penambangan minyak, gas bumi, dan mineral-mineral lain. Selain itu juga terus berkembang usaha aquakultur (budidaya perairan), rekreasi dan pariwisata, agrobisnis, transportasi dan pelabuhan, pengembangan industri, pemukiman, dan juga sebagai lokasi pembuangan limbah (Bachtiar, 2002).

Dengan adanya berbagai aktifitas tersebut, tekanan lingkungan di wilayah pesisir dan lautan semakin berat dan pada skala tertentu akan menyebabkan masalah lingkungan. Bersamaan dengan itu, tuntutan masyarakat akan lingkungan yang bersih dan sehat serta alasan ekologi lainnya juga terus meningkat sejalan dengan meningkatnya kondisi sosial ekonomi masyarakat.

Masalah pencemaran lingkungan yang berkaitan dengan sistem perairan pantai pada umumnya sangat kompleks. Hal ini karena adanya interaksi proses fisika, kimia dan biologi, serta banyaknya masukan bahan pencemar (polutan), khususnya di perairan yang berbatasan dengan pusat kota dan pusat industri. Air limpasan kota, limbah rumah tangga, limbah pertanian, limbah transportasi dan industri merupakan sumber polutan utama di sistem perairan pantai perkotaan.

Sampai saat ini, pencemaran limbah domestik diindikasikan dengan menggunakan bioindikator, berupa bakteri *Coliform*. Namun demikian, pemanfaatan bakteri *Coliform* untuk pencemaran limbah domestik di perairan pantai perkotaan yang pada umumnya padat pemukiman dan industri mempunyai masalah, karena toleransi bakteri *Coliform* sangat rendah terhadap kondisi tekanan lingkungan tinggi. Tekanan lingkungan tinggi tersebut antara lain disebabkan oleh : a) meningkatnya volume limbah industri yang bersifat

toksik dan bersuhu tinggi, b) rendahnya kandungan oksigen terlarut (DO) di lingkungan perairan akibat meningkatnya limbah organik, c) perubahan salinitas air, dari salinitas rendah (air tawar) ke salinitas tinggi (air laut). Hal tersebut dapat mempengaruhi tingkat kematian bakteri *Coliform* sehingga perannya sebagai indikator limbah domestik tidak dapat menggambarkan kondisi lapangan.

Untuk dapat mengetahui kondisi kontaminasi/pencemaran limbah domestik pada kondisi lingkungan tekanan tinggi, maka diperlukan adanya alternatif indikator yang mempunyai persistensi yang baik atau toleransi yang tinggi terhadap tekanan lingkungan, sehingga kontaminasi atau pencemaran limbah domestik dapat diketahui dengan baik.

1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Untuk mengatasi kelemahan pemanfaatan bakteri *Coliform* pada daerah dengan tekanan lingkungan tinggi, maka telah banyak alternatif indikator pencemaran limbah domestik diteliti, salah satunya koprostanol.

Koprostanol merupakan *fecal sterol* dominan yang dihasilkan manusia, merupakan 40–60 % dari total *sterol* yang dikeluarkan (Walker *et al*, 1982). Selain itu, koprostanol juga dihasilkan secara spesifik oleh hewan mamalia, seperti orang hutan, kera, babi, sapi dan binatang pengerat, namun koprostanol tidak dihasilkan oleh biota laut dan unggas kecuali ayam. Karena sumber koprostanol yang sangat spesifik, keberadaan koprostanol di alam berpotensi sebagai indikator kontaminasi limbah domestik di suatu lingkungan (Bachtiar, 2002).

Coakley dan Long (1990) menyatakan bahwa sesuatu untuk dapat dijadikan sebagai indikator alamiah tertentu harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu : a) harus dapat dihubungkan secara langsung dengan sumber spesifik, b) dapat ditentukan secara kuantitatif, dan c) bersifat cukup konservatif.

Pada beberapa wilayah di negara daerah lintang tinggi, koprostanol telah digunakan sebagai indikator resmi pencemaran limbah domestik namun di Indonesia belum secara resmi digunakan. Kebanyakan penelitian tentang koprostanol dilakukan di daerah lintang tinggi sehingga perlu dilakukan juga penelitian pada daerah lintang rendah khususnya Indonesia yang termasuk beriklim tropis.

Perbedaan kondisi alam yang paling kontras antara Indonesia di daerah tropis dengan daerah di lintang tinggi adalah kondisi iklim. Pada daerah iklim sedang suhu musim dingin yang rendah akan sangat menghambat pertumbuhan vegetasi dan aktifitas organisme lain, sedangkan pada daerah tropis suhu musiman tidak mengekang aktifitas biologi, hal tersebut akan mempengaruhi persistensi koprostanol di alam. Perubahan curah hujan musiman merupakan faktor yang penting di daerah tropis, karena pada kondisi tersebut akan memberikan karakteristik baik kuantitas masukan limbah ke perairan pantai maupun kondisi hidrodinamika perairan setempat yang berperan dalam mendistribusikan limbah ke perairan pantai (Bachtiar, 2002).

Berdasarkan kondisi lingkungan tersebut di atas, penelitian potensi koprostanol sebagai indikator kontaminasi di daerah tropis dilakukan pada musim penghujan yang bersamaan dengan kondisi monsun Barat.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah :

- a. Mengetahui laju biodegradasi koprostanol secara alamiah pada sedimen ditinjau dari tipologi kota : Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara).
- b. Mengetahui laju biodegradasi koprostanol secara alamiah pada sedimen ditinjau dari kondisi lingkungan : Sungai, Muara, dan Perairan Pantai.
- c. Mengetahui persistensi koprostanol pada tiga tipologi kota dan tiga kondisi lingkungan.

1.4. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian adalah untuk mengetahui persistensi Koprostanol sebagai persyaratan kelayakan sebagai alternatif indikator pencemaran limbah domestik di lingkungan perairan pantai perkotaan di Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1 Pencemaran Limbah Domestik

Pencemaran limbah dapat berupa limbah padat (*solid waste*), limbah cair (*liquid waste*) maupun limbah gas (*gaseous waste*). Ketiga jenis limbah tersebut dapat dikeluarkan sekaligus oleh satu industri ataupun satu persatu sesuai dengan proses yang ada di perusahaannya (Satrawijaya, 1991).

Menurut Supriharyono (2000) limbah domestik umumnya mempunyai lima sifat utama yaitu :

- 1) Mengandung bakteri, parasit, dan kemungkinan virus dalam jumlah banyak, yang sering terkontaminasi dalam kerang-kerangan.
- 2) Mengandung bahan organik dan padatan tersuspensi, sehingga BOD (*Biological Oxygen Demand*) biasanya tinggi.
- 3) Padatan (organik dan anorganik) yang mengendap di dasar perairan, komponen organik akan terurai secara biologis sebagai akibatnya kandungan oksigen berkurang.
- 4) Kandungan unsur hara, terutama komponen fosfor dan nitrogen tinggi, sehingga sering menyebabkan terjadinya *Eutrofikasi*, yaitu melimpahnya kandungan nutrisi pada suatu perairan sehingga menyebabkan kelimpahan plankton dan mikrobiologi lain menjadi tinggi.
- 5) Mengandung bahan-bahan terapung, berupa bahan-bahan organik dan anorganik di permukaan air atau berada dalam bentuk suspensi. Kondisi ini sering mengurangi kenyamanan dan menghambat laju fotosintesis serta mempengaruhi proses pemurnian alami.

Limbah domestik merupakan salah satu sumber utama pencemaran di wilayah perairan pantai. Pada daerah yang tidak mempunyai unit pengolahan limbah domestik (*Sewage Treatment Plant*), umumnya limbah hanya langsung dibuang ke badan air sungai yang kemudian terangkut dan terendapkan sepanjang aliran hingga sampai ke perairan pantai. Akumulasi limbah tersebut pada tingkat tertentu menyebabkan terjadinya pencemaran, khususnya pada perairan pantai yang dangkal dan bersifat semi tertutup (Bachtiar, 2002).

Limbah domestik dapat berupa material organik dan material anorganik, baik yang berupa gas, air, dan padatan (Pamdey dan Carney 1991). Selanjutnya dinyatakan bahwa limbah padat dari sumber domestik dianggap bukan merupakan limbah bahan beracun dan berbahaya (B3), meskipun di dalamnya kadang-kadang terdapat juga limbah B3.

Pencemaran limbah domestik khususnya di perairan pantai pada negara yang sedang berkembang masih kurang mendapat perhatian serius dibandingkan dengan pencemaran limbah industri, hal ini terjadi karena walaupun secara kuantitas debit limbah industri relatif lebih kecil, tetapi mempunyai peranan penting dalam penurunan kualitas air karena umumnya mempunyai toksisitas yang tinggi. Namun demikian dengan terus meningkatnya aktifitas manusia di wilayah pesisir dan kesadaran pentingnya lingkungan yang bersih bagi kesehatan, estetika dan alasan ekologis lainnya, deteksi tentang kontaminasi limbah domestik menjadi penting untuk diketahui secara lebih baik (Bachtiar, 2002).

2.1.2 Indikator Pencemaran Limbah Domestik

Karakteristik kimia dan biologi dari limbah domestik telah digunakan sebagai indikator kontaminasi limbah domestik. Indikator tersebut digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang terkontaminasi dan mempunyai potensi terhadap bahaya kesehatan (Hatcher and Mc Gillivray, 1979).

Selama ini, salah satu cara untuk mengetahui adanya pencemaran limbah domestik secara tradisional ditentukan dengan pengukuran jumlah bakteri *Colliform* (Barlett, 1987).

Dengan terus meningkatnya aktifitas manusia di wilayah pesisir, telah menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan lingkungan, berupa meningkatnya volume limbah industri yang bersifat toksik dan bersuhu tinggi, serta menurunnya kandungan oksigen terlarut pada perairan pantai, pada kondisi seperti ini, penggunaan bioindikator berupa mikroorganisme mengalami banyak masalah (Barlett, 1987). Hal ini terjadi karena mikroorganisme mempunyai toleransi yang rendah terhadap tekanan lingkungan.

2.1.3 Koprostanol Sebagai Indikator Kontaminasi

Keberadaan fecal sterol koprostanol (5β -cholestan- 3β -ol) di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator ilmiah untuk kontaminasi limbah domestik (Jeng *et al* 1996, Chan *et al*, 1998).

Menurut Coakley dan Long (1990) keberadaan koprostanol di alam berpotensi sebagai indikator kontaminasi *fecal pollution*, untuk dapat menjadi indikator tersebut harus memenuhi persyaratan : a) harus dapat dihubungkan secara langsung dengan sumber spesifik, b) harus dapat ditentukan secara kuantitatif (mempunyai eksistensi yang baik di alam), dan c) harus bersifat cukup konservatif (mempunyai persistensi yang baik di alam).

Jeng *et al* (1996) dalam penelitiannya pada 24 sampel sedimen permukaan dan 1 sampel *core* sedimen di laut Baratdaya Taiwan mendapatkan bahwa konsentrasi koprostanol menurun dengan meningkatnya jarak dari muara sungai Kaoping. Hal tersebut dapat disebabkan oleh : 1) pengenceran koprostanol oleh sedimen yang tidak terkontaminasi atau sedimen yang relatif mengandung koprostanol lebih rendah, 2) pengenceran koprostanol oleh *biogenic sterol*, dan 3) kemungkinan degradasi koprostanol. Pada permukaan *core* sedimen sampai kedalaman 15 cm menunjukkan konsentrasi koprostanol yang tinggi. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan masukan koprostanol lebih dari 20 tahun.

Chan *et al* (1998) menggunakan koprostanol, kolestanol dan kolesterol sebagai molekul indikator untuk merunut pengendapan sedimen terkontaminasi perairan pantai tenggara Hongkong. Dinyatakan bahwa semua indikator menunjukkan sebagai indikator yang berguna untuk pola studi pola penyebaran limbah domestik dan sedimen perairan pantai.

Bachtiar (2002) menjelaskan bahwa padatan material organik limbah domestik saat masuk ke dalam perairan, sebagian ada yang terlarut dan sebagian lainnya tidak terlarut. Koprostanol merupakan bagian dari padatan material organik limbah domestik yang tidak terlarut dalam air, padatan material organik yang tidak terlarut ini akan terurai oleh proses biodegradasi dan proses fisik yang menjadikan material tersebut menjadi partikel halus (koloid). Material organik yang telah terurai mejadi partikel koloid, sebagian ada yang berinteraksi dengan air (*hidrofilik*) dan sebagian tidak bereaksi dengan air (*hidropobik*). Koprostanol mempunyai sifat yang tidak larut dalam air, sehingga dalam bentuk

koloid koprostanol berpotensi sebagai koloid hidropobik. Koloid koprostanol akan teradsorpsi oleh material organik yang terdapat pada koloid lempung dalam proses flokulasi. Koloid koprostanol yang terflokulasi dengan koloid lempung kemudian mengalami transpor bersama sedimen lempung oleh adanya pola arus dekat pantai. Hal ini menyebabkan sedimen lempung umumnya mempunyai kandungan organik total atau koprostanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen debu dan pasir, namun demikian material organik yang terjerap pada sedimen dapat terlepas dengan adanya pencucian oleh pergerakan air.

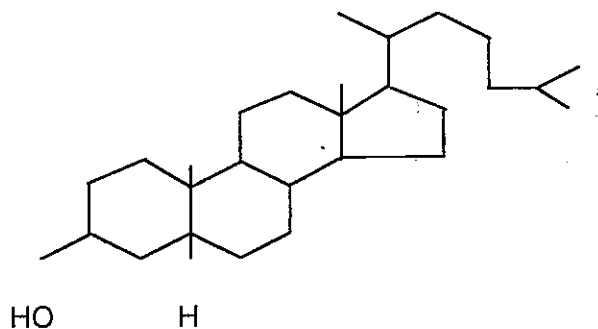
2.1.4 Koprostanol (5 β -cholestan-3 β -ol)

Takada (2001) menjelaskan bahwa koprostanol merupakan sejenis sterol dan telah digunakan sebagai indikator kimia untuk pencemaran limbah domestik. Selanjutnya dinyatakan bahwa *Fecal sterol* atau koprostanol terdapat dalam feces manusia yang terbentuk melalui metabolisme kolesterol oleh bakteri di dalam organ pencernaan, selain itu koprostanol juga dihasilkan oleh sejumlah hewan mamalia.

Koprostanol pertama kali diamati oleh Marcet pada pertengahan 1.800 (Walker *et al*, 1982), dengan mendapatkan zat yang dinamakan *excretine*, yang merupakan hasil dari kristalisasi ekstrak alkohol pada feces manusia. Berdasarkan data titik leleh (*melting point*) dan *solubility* diketahui bahwa zat tersebut mengandung koprostanol yang merupakan hasil reduksi kolesterol oleh bakteri. Pada suhu ruang koprostanol merupakan padatan kristal berwarna putih yang mempunyai titik leleh 101°C. Koprostanol larut dalam etanol, benzene, ether dan chloroform, dalam methanol koprostanol tidak terlarut secara keseluruhan. Konsentrasi kolesterol dan koprostanol dalam air limbah tidak terhambat oleh kelarutan adsorpsi keduanya pada material partikel.

Struktur kimia koprostanol sangat mirip dengan kolesterol (Walker *et al*, 1982). Perbedaannya hanya adanya ikatan rangkap pada C5 dan 6 pada kolesterol. Hidrogenasi pada ikatan rangkap kolesterol dapat menghasilkan pembentukan dua isomer yang berbeda satu dengan lainnya pada konfigurasi karbon 5 pada pertemuan lingkaran A dan B. Pada koprostanol ikatan hidrogen pada karbon 5 dan -CH3 pada karbon 10 keduanya mempunyai orientasi β (konfigurasi *cis*). Konfigurasi ini dinyatakan sebagai seri normal karena identik dengan konfigurasi *natural bile acids*. Secara alamiah terdapat sterol jenuh

samping koprostanol yang ikatan hidrogennya mempunyai orientasi α yaitu kolestanol (5α -cholestan-3 β -ol).

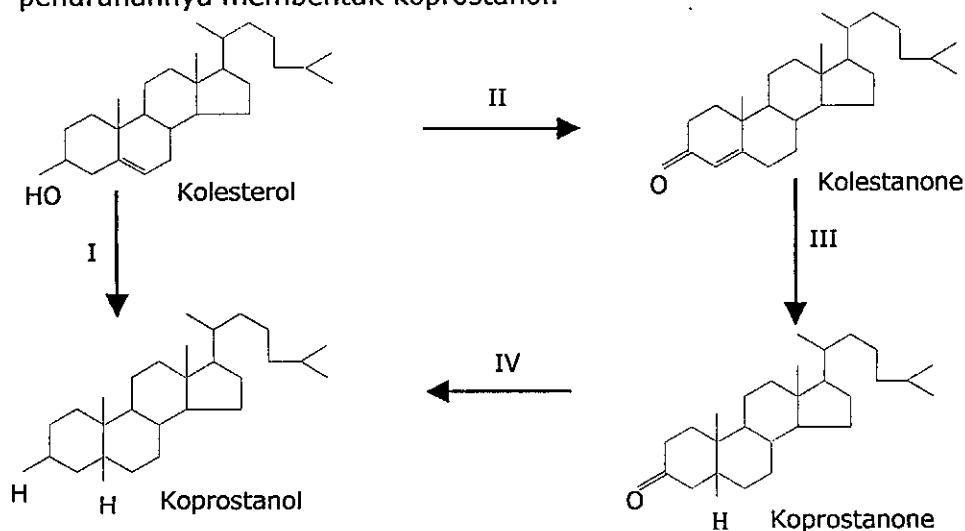


Gambar 1. Struktur Kimia Koprostanol

2.1.5. Pembentukan Koprostanol

a. Biosintesis

Secara biosintesis, ada dua alur pembentukan koprostanol (Walker *et al*, 1982). Alur pertama adalah akibat adanya hidrogenasi stereospesifik pada ikatan rangkap 5,6 pada kolesterol. Sedangkan alur kedua diawali dengan adanya konversi dari kolesterol menjadi kolestanone, penurunan dari kolestanone akan membentuk koprostanone, koprostanone ini yang kemudian penurunannya membentuk koprostanol.



Gambar 2. Jalur Pembentukan Koprostanol

b. Esterifikasi

Sekitar 30% koprostanol yang terdapat pada faeces manusia berada dalam bentuk ester. Ester ini dapat terbentuk oleh proses hidrogenasi ester kolesterol atau esterifikasi koprostanol (Walker *et al*, 1982)

c. Peranan Mikrobia

Peranan mikroorganisme intestinal dalam pembentukan koprostanol telah diketahui sejak lama, telah juga dilakukan pengamatan tentang perubahan populasi mikroba dengan dilakukannya manipulasi diet, yang dapat menghasilkan pengurangan atau menghilangkan sama sekali pembentukan koprostanol. (Walker *et al*, 1982).

2.1.6. Biodegradasi Koprostanol

Biodegradabilitas (penguraian/perombakan secara biologis) suatu senyawa ditentukan oleh sifat dan susunan bahan, dimana pada umumnya senyawa organik mempunyai sifat yang tinggi (cepat), sedangkan senyawa anorganik mempunyai sifat yang rendah (lambat atau lambat sekali), tetapi pada kenyataannya khususnya di lingkungan alami biodegradabilitas ditentukan pula oleh banyak faktor, baik yang bersifat biotik (bentuk dan sifat bahan) dan abiotik (bentuk, sifat, kadar air, susunan media, dll), buangan baik yang berasal dari sumber domestik (umumnya tersusun oleh senyawa organik) ataupun dari sumber non-domestik (umumnya tersusun oleh senyawa anorganik) mempunyai kandungan senyawa yang berbeda, serta variasi biodegradabilitas yang luas. Proses biologis merupakan proses alami yang bersifat dinamis dan kontinyu selama faktor-faktor yang berhubungan dengan kebutuhan yang terangkut di dalamnya terpenuhi (Suriawiria, 1996).

Kichmer (1971) setelah mengadakan pengamatan perbedaan tingkat degradasi koprostanol pada limbah domestik yang diberikan khlor dan tidak diberikan khlor, mengambil kesimpulan bahwa penghilangan koprostanol dengan proses lumpur aktif pada dasarnya merupakan peranan biodegradasi. Konsentrasi koprostanol pada limbah tanpa penambahan khlor terdegradasi menjadi 4% dari konsentrasi awal setelah 10 hari pada suhu ruangan. Pada beberapa tipe penambahan khlor, koprostanol berkurang menjadi 70% dari konsentrasi awal dalam 2 hari, dan menjadi 45% dalam 8 hari. Hal ini menunjukkan bahwa bila

keberadaan bakteri terganggu akibat adanya penambahan khlor, proses degradasi koprostanol menjadi sangat lambat.

Barlett (1987) dalam penelitiannya tentang biodegradasi koprostanol dalam sistem eksperimen, menggunakan 4 (empat) akuarium dengan perlakuan yang berbeda yaitu : a) lumpur limbah domestik, b) lumpur limbah domestik dengan pengenceran 10 x menggunakan air laut, c) campuran air bersih dengan lumpur limbah domestik (4:1 v/v) dengan aliran air laut 500 ml/menit dan d) campuran air bersih dengan lumpur limbah domestik (4:1 v/v) tanpa aliran air laut. Tiap aquarium diberi aerasi dan dijaga untuk tetap dalam kondisi gelap dengan suhu 20°C. Percobaan dilakukan selama 53 hari. Pada kondisi aquarium (a) dengan konsentrasi awal koprostanol 35 µg/ml, mengalami biodegradasi sebesar 85% (5,25 µg/ml) setelah 29 hari dan mencapai 91% (3,15 µg/ml) setelah 54 hari.

Switzer-Howse dan Dutka (1978) dalam uji biodegradasi semi alamiah yaitu dengan menambahkan media dalam kandungan koprostanol (94,70 µg/liter) kepada media alamiah yaitu a) *raw sewage*, b) air Lake Ontario dan c) air Hamilton Bay, mendapatkan bahwa pada minggu kedua telah terjadi biodegradasi koprostanol sebesar 99% (0,99 µg/liter) pada media *raw sewage*, 94% (5,83 µg/liter) pada media air Lake Ontario dan 97% (2,45 µg/liter) pada media air Hamilton Bay. Pada akhir percobaan (42 hari) didapatkan pada ketiga media uji tersebut terjadi biodegradasi sebesar 99%, dengan rerata laju biodegradasi 0,0022 µg/ml hari⁻¹.

Bachtiar (2002) melakukan uji kinetika biodegradasi koprostanol secara alamiah pada 2 (dua) kondisi alamiah (aerob dan anaerob) serta pada 3 (tiga) kondisi lingkungan yang berbeda (sungai, muara dan laut). Sampel sedimen dan air untuk masing-masing kondisi lingkungan diambil secara random untuk mewakili kondisi lingkungan tersebut, sampel yang didapat kemudian dihomogenkan untuk tiap-tiap kondisi lingkungan, kemudian dilakukan pengambilan sampel untuk mengetahui konsentrasi awal koprostanol pada tiap-tiap kondisi lingkungan. Uji biodegradasi koprostanol secara alamiah dilakukan pada labu erlenmeyer sebagai *batch reactor* yang ditutup dengan alumunium foil dan diberikan aerasi. Sampling dilakukan secara duplo dengan interval waktu 3, 6, 9, 18, 36, dan 62 hari. Data hasil uji biodegradasi secara alamiah pada akhir penelitian (62 hari) didapatkan rerata laju degradasi koprostanol untuk sedimen

sungai sebesar $0,052 \mu\text{g}/\text{gram hari}^{-1}$, sedimen muara sebesar $0,015 \mu\text{g}/\text{gr hari}^{-1}$, serta sedimen laut sebesar $0,0088 \mu\text{g}/\text{gram hari}^{-1}$.

Data penelitian laju biodegradasi alamiah koprostanol yang dilakukan pada musim kemarau adalah : a) laju biodegradasi koprostanol pada sedimen perairan Kota Jakarta, berturut-turut untuk sungai sebesar $0.102 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, diikuti muara sebesar $0.050 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, dan perairan pantai sebesar $0.012 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, b) laju biodegradasi koprostanol pada sedimen perairan Kota Semarang, berturut-turut untuk sungai sebesar $0.045 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, disusul perairan pantai sebesar $0.043 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, kemudian muara sebesar $0.0069 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, c) laju biodegradasi koprostanol pada sedimen perairan Kota Jepara, berturut-turut untuk sungai sebesar $0.047 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, disusul muara sebesar $0.045 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$, dan perairan pantai sebesar $0.033 \mu\text{g}/\text{g}/\text{hari}$ (Nadia, *Unpublish*).

Hasil studi biodegradasi koprostanol oleh Wun *et al* dalam Walker *et al*, (1982) menunjukkan bahwa penguraian koprostanol menjadi sangat lambat pada limbah domestik yang pengencerannya menggunakan air tawar maupun air asin yang telah disaring dengan menggunakan membrane filter dan disterilisasi, dibandingkan dengan air yang tidak disaring.

2.1.7. Sedimen

Sedimen merupakan partikel bebas yang telah mengalami pengendapan. Partikel tersebut dapat berasal dari proses pelapukan, batu-batuan yang mengalami erosi, aktivitas makhluk hidup dan dari letusan gunung vulkanik, dari proses kimiawi di dalam air itu sendiri dan sedikit dari luar angkasa. Sebagian besar dasar lautan berupa debu yang berasal dari sedimen. Kecepatan pengendapan sedimen tersebut bervariasi antara beberapa sentimeter per tahun sampai mencapai jumlah yang banyak setelah beberapa ribu tahun (Garrison, 1993).

Sedimen *terrigenous* merupakan tipe sedimen yang paling melimpah. Sesuai dengan namanya sedimen ini berasal dari benua atau pulau yang berada di sekitarnya. Kuarsa dan lempung (*clay*) adalah dua jenis sedimen laut yang paling sering ditemukan.

Sedimen *biogenous* terdiri dari mineral *siliceous* dan *calcareous*. Material tersebut diekstrak oleh aktifitas tanaman dan hewan kecil untuk membangun cangkang perlindungan. Sebagian sedimen berasal dari cangkang moluska atau

koloni hewan yang menetap seperti karang, namun sebagian besar organisme yang menghasilkan sedimen ini melayang di dalam air seperti plankton. Ketika organisme mati struktur yang keras jatuh secara perlahan ke dasar dan mengakumulasi di dalam lapisan sedimen, sedimen ini memiliki jumlah yang melimpah dimana banyak mengandung nutrisi yang mendukung produktivitas biologi.

Sedimen *hydrogenous* adalah mineral yang mengendap langsung dari air laut, sumber dari mineral terlarut dari batu karang di bawah permukaan air dan sedimen, pelepasan kerak dari gunung laut, bahan yang keluar dari hidrothermal, substansi yang mengalir ke lautan dari aliran sungai.

Sedimen pada perairan pantai umumnya memiliki kuantitas, karakter dan komposisi yang berbeda dengan sedimen yang berada di dasar lautan. Sedimen *continental shelf* dinamakan sedimen neritik umumnya terdiri dari material *terrigenous*, sedangkan sedimen yang berada di dasar lautan dinamakan sedimen *pelagik* (Garrison, 1993).

Kandungan organik total pada sedimen merupakan salah satu parameter penting berkaitan dengan pencemaran bahan organik. Pendekatan dalam penentuan bahan organik di sedimen ditentukan dengan metoda pengabuan (*loss on ignition*) (Bachtiar, 2002).

Hatcher dan Keister (1976) dalam Vivian (1985), menyarankan penggunaan rasio karbohidrat total (TCH) atau karbon organik total (TOC) sebagai indikator pencemaran senyawa organik di sedimen. Nilai rasio yang tinggi di dalam sedimen menunjukkan adanya pencemaran senyawa organik, sedangkan nilai rasio yang rendah menunjukkan adanya bahan organik yang berasal dari fitoplankton.

Secara garis besar, ukuran butir sedimen dibagi menjadi : a) pasir (*sand*, 63 sampai dengan 200 μm , b) debu (*silt*, 2 sampai dengan 63 μm , dan c) lempung (*clay*, < 2 μm . Penentuan ukuran butir sedimen dilakukan melalui dua tahapan yaitu : a) pengayakan basah (*wet sieving*) dan b) pengayakan kering (*dry sieving*) (Kramer *et al*, 1994).

Penentuan besar ukuran partikel berhubungan dengan kecepatan pengendapan partikel tersebut dan waktu pengambilan sampel. Kecepatan pengendapan sangat sensitif terhadap suhu air, sehingga suhu harus dijaga konstan (Bachtiar, 2002).

2.1.8. Musim Penghujan

Pola curah hujan untuk wilayah Indonesia dipengaruhi oleh keberadaan dua samudera yaitu Samudera Pasifik di sebelah timur laut dan Samudera Indonesia di sebelah barat daya, serta keberadaan dua benua yang mengapit kepulauan Indonesia, yaitu Benua Asia dan Benua Australia (Lakitan. B, 1997), selanjutnya dinyatakan arah angin sangat penting peranannya dalam mempengaruhi pola curah hujan. Jika angin berhembus dari arah Samudera Pasifik atau Samudera Indonesia, maka angin tersebut akan membawa udara lembab ke wilayah Indonesia yang akan mengakibatkan curah hujan yang tinggi di wilayah Indonesia, sebaliknya jika angin berhembus dari arah daratan Benua Asia dan Benua Australia, angin tersebut akan mengandung sedikit uap air sehingga proses kondensasi secara alamiah tidak dapat berlangsung, akibatnya tidak ada hujan.

Menurut Tjasyono, B. (1986) musim mempengaruhi lamanya siang hari dan lamanya insolasi, di ekuator lamanya siang dan malam hari sama yaitu 12 jam. Di Indonesia dikenal dengan 2 musim yaitu musim penghujan dan musim kemarau dimana variasi temperatur sepanjang tahun sangat kecil dan variasi curah hujan sangat besar.

Pada waktu musim penghujan, yang umumnya pada kondisi debit air sungai besar, pengaruh air tawar menjadi jauh ke laut. Proses koagulasi akan terjadi optimum pada daerah sekitar akhir pengaruh debit sungai, hal ini menyebabkan proses pengendapan material organik bersama sedimen lempung langsung terjadi pada perairan yang relatif dalam, di samping itu endapan material organik dan sedimen lempung yang mengendap di muara pada musim kemarau, akan mengalami resuspensi dan berpeluang untuk terangkut lebih jauh ke perairan yang lebih dalam pada waktu musim penghujan (Bachtiar, 2002)

2.2. Rona Lingkungan Daerah Penelitian

2.2.1 Lokasi Penelitian Jakarta

Kota Jakarta merupakan dataran rendah yang mewakili daerah dengan tingkat pencemaran tinggi memiliki letak geografis, sebelah utara pada letak lintang 6°12' LS dengan batas wilayah Laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang 6°20' LS dengan batas wilayah Kota Bogor, sebelah barat pada letak

lintang 106°48' BT dengan batas wilayah Propinsi Banten dan sebelah timur pada letak lintang 107°10' BT dengan batas wilayah Kota Bekasi.

Luas wilayah Kota Jakarta tercatat 661,52 km² yang terdiri dari 5 wilayah kota yaitu Jakarta Selatan, Jakarta Utara, Jakarta Barat, Jakarta Timur, Jakarta Pusat, serta 1 wilayah Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu. Luas tanah dan penggunaannya; 41.331,32 Ha untuk perumahan, 4.998,53 Ha untuk industri, 6.812,75 Ha untuk perkantoran dan pergudangan, 1.314,23 Ha untuk taman serta 11.705,17 Ha untuk kegunaan lainnya (Jakarta dalam Angka, 2003).

Keadaan iklim DKI Jakarta, memiliki curah hujan sepanjang tahun 2003 sebesar 2.288,9 mm/tahun, rata-rata tekanan udara 1.009,5 MBS dan kelembapan udara 76,4%, arah angin 212 poin, kecepatan angin 3,5 m/s, suhu udara rata-rata maksimum 28,7°C dan suhu udara rata-rata minimum 26,0°C.

Anak sungai Ciliwung yang menjadi lokasi penelitian mempunyai panjang 46.200 km dan luas area 1.155.000 Ha, melalui beberapa wilayah Kecamatan dengan tingkat kepadatan yang dapat dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian Jakarta

No.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jml. Penduduk (Jiwa)	Tk. Kepadatan Penduduk (Jiwa/Ha)
1.	Keramatjati	1.334	267.945	201
2.	Jatinegara	1.064	351.236	330
3.	Senen	423	92.390	218
4.	sawah Besar	592	101.973	172
5.	Pademangan	1.191	180.781	152
JUMLAH		4.604	994.325	216 (Kelas I)

Sumber : Jakarta Dalam Angka, 2003.

2.2.2 Lokasi Penelitian Semarang

Kota Semarang mewakili daerah dengan tingkat pencemaran sedang memiliki letak geografis, sebelah utara pada letak lintang 6°50' LS dengan batas wilayah Laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang 7°10' LS dengan batas wilayah Kabupaten Semarang, sebelah barat pada letak lintang 109°35' BT dengan batas wilayah Kabupaten Kendal dan sebelah timur pada letak lintang 110°50' BT dengan batas wilayah Kabupaten Demak.

Luas wilayah Kota Semarang tercatat 373,70 km² yang terdiri dari 16 wilayah Kecamatan dan 177 Kalurahan. Luas tanah yang ada terdiri dari 40,03 km² (10,71%) tanah sawah dan 333, 67 km² (89,29%) bukan lahan sawah. Menurut penggunaannya; luas tanah sawah terbesar merupakan tanah sawah tadah hujan (51,26%) dan hanya sekitar 14% saja yang bisa ditanami dua kali tanam. Lahan kering sebagian besar digunakan untuk tanah pekarangan serta bangunan yaitu sebesar 44,38% dari total lahan bukan sawah.

Menurut badan Metereologi dan Geofisika Wilayah II Semarang suhu udara rata-rata di Jawa Tengah pada tahun 2003 berkisar antara 26°C sampai dengan 27,9°C, kelembapan udara rata-rata bervariasi dari 69% sampai dengan 84%.

Kota Semarang hampir berada di tengah-tengah panjang kepulauan di dunia dari arah barat ke timur. Akibat kondisi letak geografis tersebut maka Kota Semarang termasuk beriklim tropis dengan 2 musim yaitu musim hujan yang bersamaan dengan Monsun Barat dan musim kemarau bersamaan dengan Monsun Timur yang silih berganti sepanjang tahun.

Sungai Banjir kanal Timur yang menjadi lokasi penelitian melintasi beberapa wilayah kecamatan dengan tingkat kepadatan penduduk yang dapat dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian Semarang

No.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jml. Penduduk (Jiwa)	Tk. Kepadatan Penduduk (Jiwa/Ha)
1.	Gayamsari	526,33	62.429	119
2.	Semarang Timur	770,06	84.961	110
3.	Pedurungan	2.072,00	133.739	65
4.	Semarang SLT	848,05	77.813	92
5.	Tembalang	871,77	99.813	114
6.	Semarang Utara	1.175,28	122.744	104
JUMLAH		6.263,70	581.337	93 (Kelas I)

Sumber : Semarang Dalam Angka, 2003.

2.2.3. Lokasi Penelitian Jepara

Kota Jepara mewakili daerah dengan tingkat pencemaran rendah memiliki letak geografis, sebelah utara pada letak lintang 5°43'30" LS dengan batas wilayah Laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang 6°47'44" LS dengan batas

wilayah Kabupaten Demak, sebelah barat pada letak lintang 112°23'20" BT dengan batas wilayah Laut Jawa dan sebelah timur pada letak lintang 113°09'35" BT dengan batas wilayah Kabupaten Kudus dan Kabupaten Pati.

Luas wilayah Kabupaten Jepara tercatat 1.004,132 km² yang terdiri dari 14 Kecamatan. Luas wilayah terdiri dari tanah persawahan 26.415,392 Ha yang terdiri dari tanah persawahan pengairan teknis, setengah teknis, tadah hujan, pasang surut, serta sekitar 73.997,796 Ha berupa tanah kering meliputi tanah bangunan, tegalan, padang rumput, rawa tambak, tanah negara, perkebunan, dan lainnya.

Sungai Demaan yang menjadi lokasi penelitian melintasi beberapa wilayah Kecamatan di Kabupaten Jepara dengan tingkat kepadatan penduduk yang dapat dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian Jepara

No.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jml. Penduduk (Jiwa)	Tk. Kepadatan Penduduk (Jiwa/Ha)
1.	Batealit	8.887,865	72.010	8
2.	Tahunan	3.890,581	92.005	21
3.	Jepara	2.466,700	72.597	27
JUMLAH		15.245,146	263.612	16 (Kelas III)

Sumber : Jepara Dalam Angka, 2003

2.3. Originalitas Penelitian

Penelitian laju biodegradasi alamiah koprostanol pada sedimen dengan kondisi lingkungan yang berbeda (sungai, muara, dan perairan pantai) serta pada tipologi kota yang berbeda (Metropolitan (Jakarta), Besar (Semarang), dan Kecil (Jepara) pada musim penghujan belum dilakukan. Penelitian terdahulu telah dilakukan pada lokasi yang sama akan tetapi dilakukan pada musim kemarau, dimana pengaruh faktor musim akan sangat berpengaruh terhadap hasil-hasil penelitian.

2.4. Hipotesis

Hipotesa yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Ho = Tidak terdapat perbedaan nyata laju biodegradasi alamiah koprostanol pada kondisi lingkungan sungai, muara dan perairan pantai.
- H1 = Terdapat perbedaan nyata laju biodegradasi alamiah koprostanol pada kondisi lingkungan sungai, muara dan perairan pantai.
- Ho = Tidak terdapat perbedaan nyata laju biodegradasi alamiah koprostanol pada tipologi lingkungan kota Jakarta, Semarang dan Jepara.
- H1 = Terdapat perbedaan nyata laju biodegradasi alamiah koprostanol pada tipologi lingkungan kota Jakarta, Semarang dan Jepara

BAB III

METODA PENELITIAN

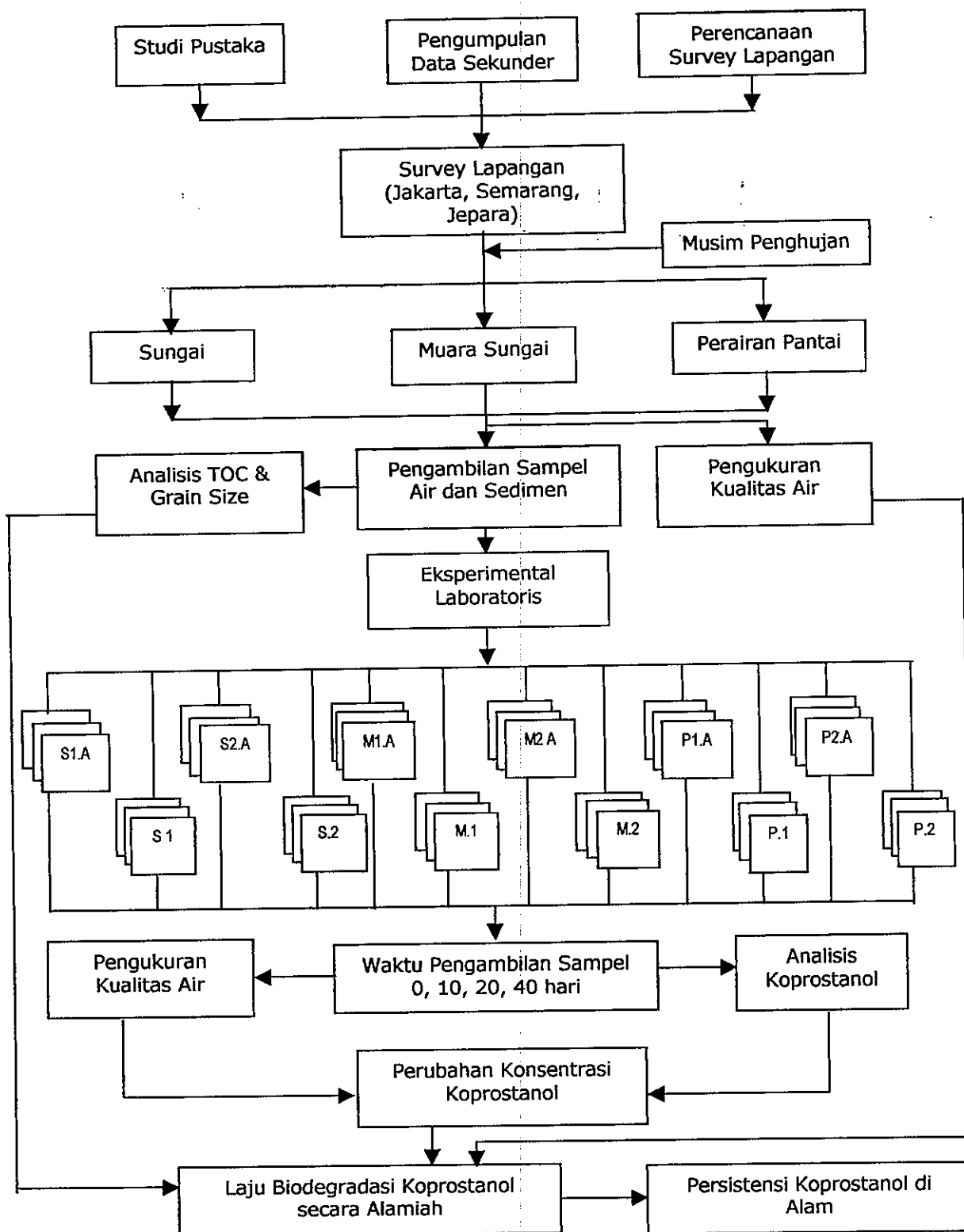
3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui persistensi koprostanol sebagai alternatif bioindikator pencemaran limbah domestik dengan mengukur laju biodegradasi koprostanol secara alamiah. Tahapan penelitian dimulai dari studi pustaka, pengumpulan data sekunder permasalahan yang akan diteliti dan hasil-hasil yang telah ditemukan dari penelitian terdahulu, penelitian lapangan untuk mengambil sampel, penelitian laboratorium untuk mengamati variabel yang diteliti, pengolahan data percobaan, analisis dan pembahasan hasil pengolahan data (Gambar 3).

Penelitian lapangan dilaksanakan pada waktu musim penghujan pada tiga kondisi lingkungan yang berbeda (sungai, muara, dan perairan pantai) serta tiga tipologi kota yang berbeda : Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara). Dilakukan pengambilan sampel sedimen pada masing-masing stasiun sebanyak 5 kg dan air sebanyak 5 liter.

Pengamatan laboratorium di Laboratorium Fakultas Perikanan dan Kelautan Undip dengan memasukkan sampel sedimen dan air dari masing-masing stasiun ke dalam akuarium yang telah diberi label S untuk sungai, M untuk muara, dan P untuk perairan pantai. Pengamatan biodegradasi koprostanol dilakukan dengan dua kali ulangan dan dua perlakuan yaitu dengan aerasi dan tanpa aerasi untuk masing-masing stasiun. Perlakuan dengan aerasi dilakukan dengan memberikan aerator, yang dipasang pada kolom air dan diusahakan jangan mengaduk sedimen yang ada di bawah.

Dilakukan pengukuran untuk pengamatan kualitas air yang meliputi : DO, PH dan suhu, serta pengambilan sampel untuk analisis koprostanol pada hari ke 0, 10, 20 dan 40. Untuk melihat kandungan serta karakteristik sedimen dilakukan analisis kandungan organik total sedimen serta analisis karakteristik sedimen. Selanjutnya dilakukan pengukuran laju biodegradasi koprostanol secara alamiah serta pengujian secara statistik untuk mengetahui persistensi koprostanol di alam.



Gambar 3. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Keterangan : S : sungai M : muara sungai
 P : perairan pantai A : aerasi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental merupakan penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan saling hubungan sebab-akibat dengan cara mengenakan kepada satu atau lebih eksperimental, satu atau lebih kondisi perlakuan dan membandingkan hasilnya dengan satu atau lebih kelompok kontrol yang telah dikenai kondisi perlakuan (Suryabrata, 1993). Rancangan penelitian yang digunakan adalah Faktorial Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 2 kali ulangan dimana sebagai faktor keragaman adalah kondisi lingkungan (sungai, muara, dan perairan pantai), tipologi lingkungan kota : Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara) dan perlakuan (dengan aerasi dan tanpa aerasi).

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

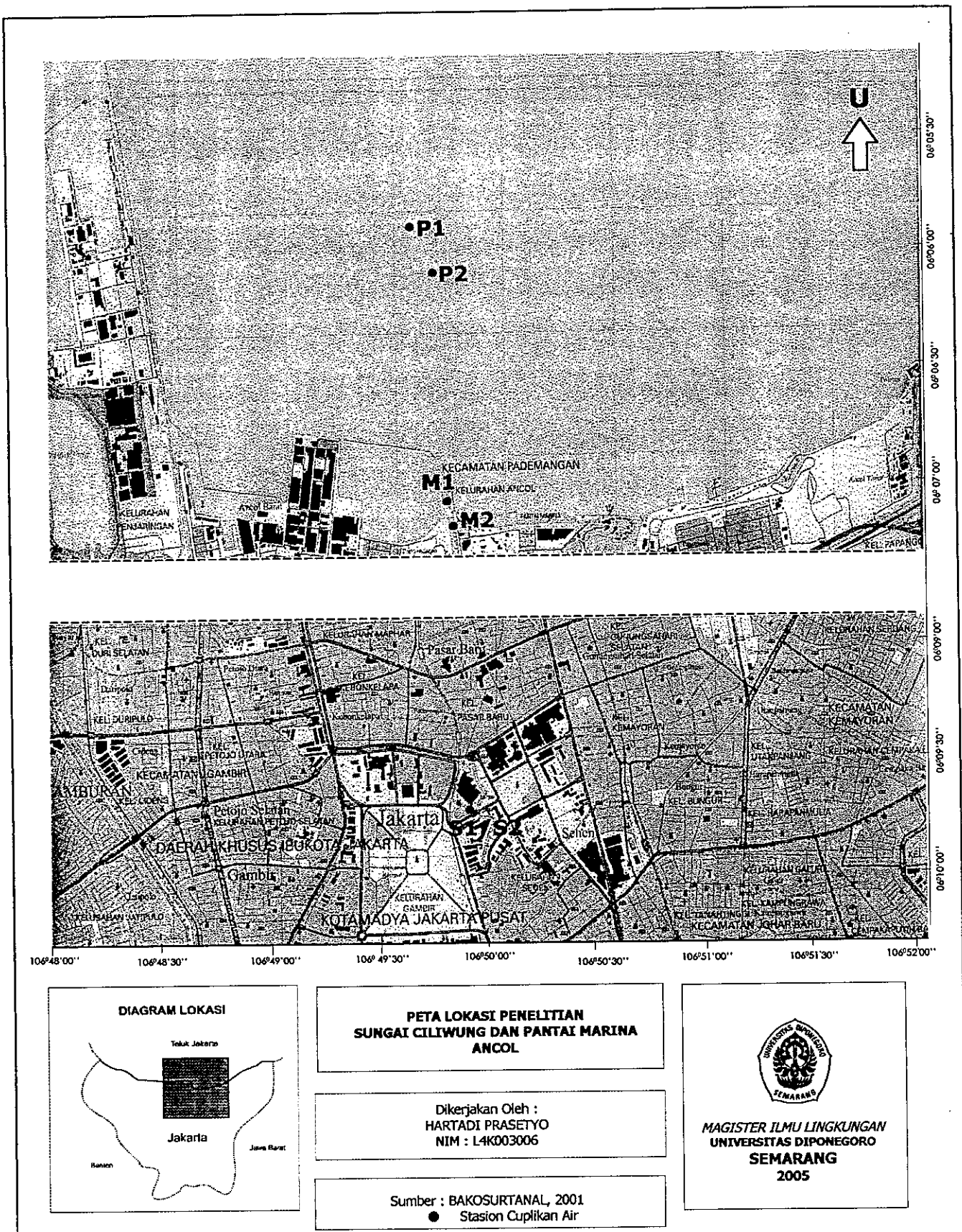
Penelitian dilakukan dengan mengetahui persistensi koprostanol sebagai alternatif bioindikator pencemaran limbah domestik dengan mengukur laju biodegradasi koprostanol secara alamiah pada 3 (tiga) kondisi lingkungan yang berbeda (sungai, muara, dan perairan pantai), 3 (tiga) tipologi kota yang berbeda (Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara) serta 2 (dua) perlakuan berbeda (aerasi, dan tanpa aerasi).

3.3. Lokasi Penelitian

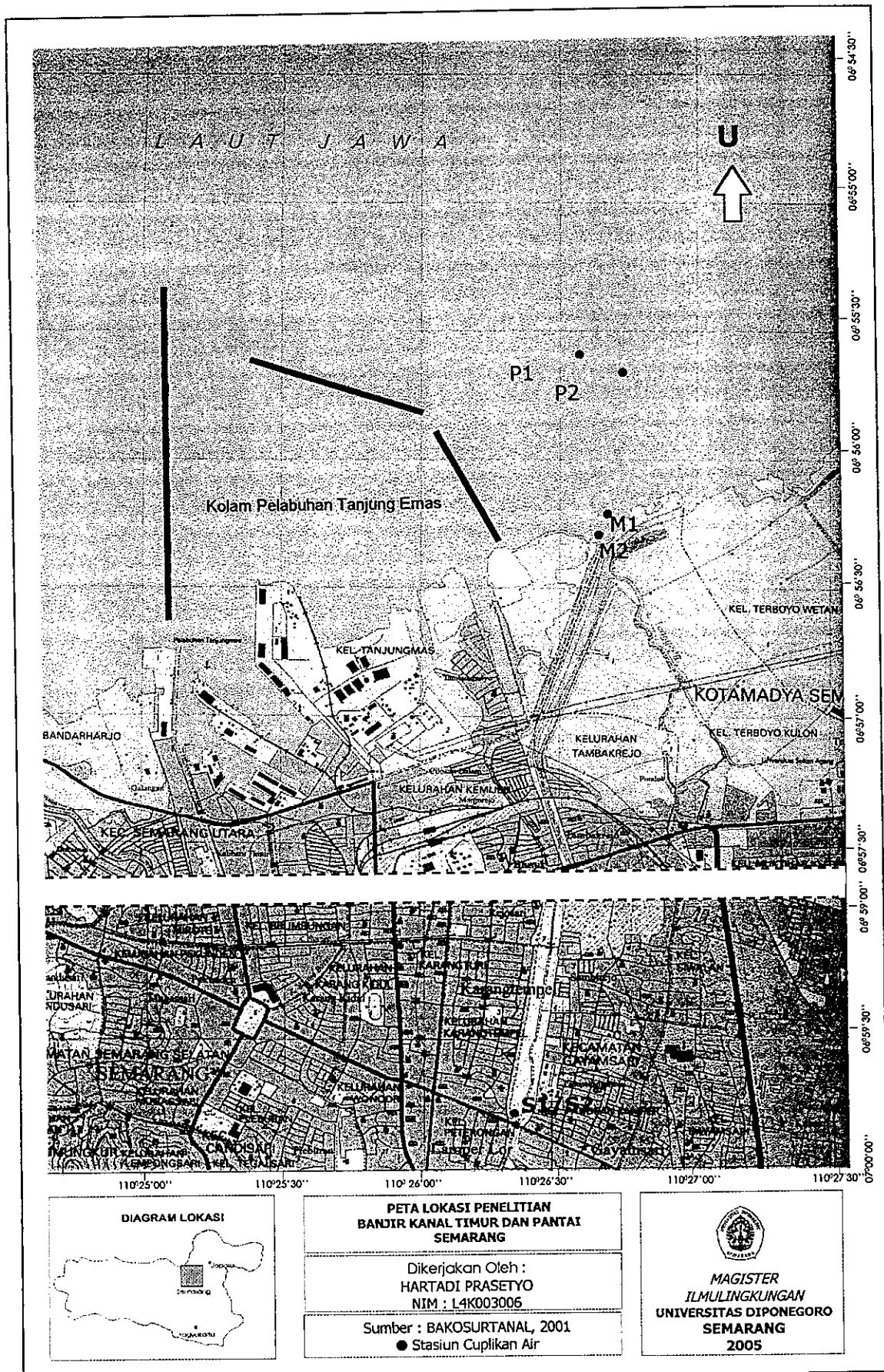
Penelitian lapangan dilakukan di perairan Kota Jakarta (mewakili Kota Metropolitan), perairan Kota Semarang (mewakili Kota Besar) dan perairan Kota Jepara (mewakili Kota Kecil), (Gambar 4,5, dan 6).

Pengambilan sampel berupa sedimen dan air dilakukan di tiga lokasi yang mewakili tiga kondisi lingkungan yaitu : 1) lingkungan sungai yang merupakan sumber masukan limbah, 2) lingkungan muara yang merupakan interaksi antara lingkungan sungai dan laut serta 3) lingkungan perairan pantai dimana limbah terdistribusi.

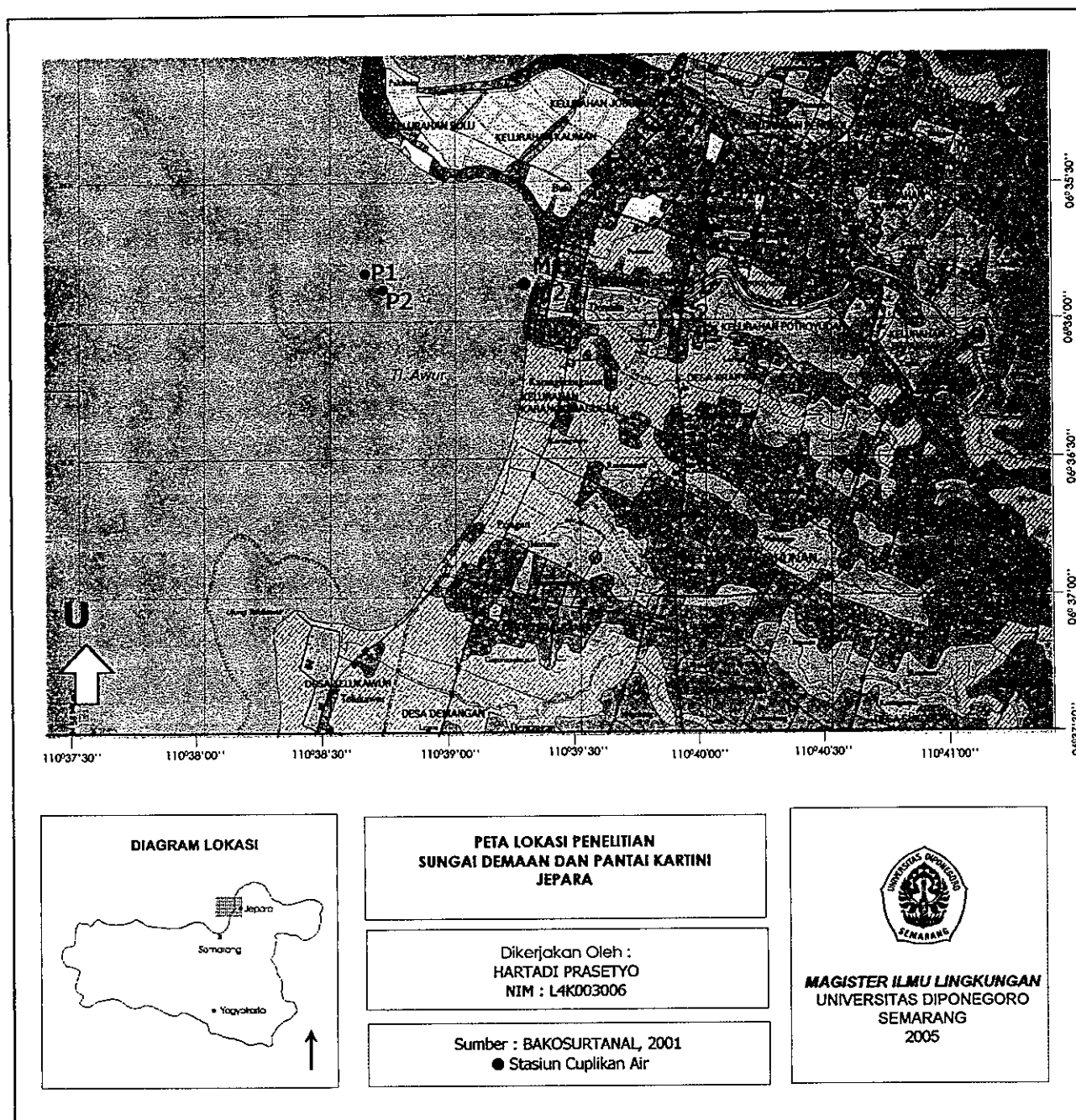
Penelitian laboratorium terdiri dari: 1) penelitian akuarium di laboratorium Kelautan Terpadu Fakultas Perikanan dan Kelautan UNDIP, 2) preparasi sampel untuk koprostanol, TOC, dan Grain Size di laboratorium Kelautan Jepara, dan 3) penentuan konsentrasi koprostanol dengan U.V. Spektro di Laboratorium Kimia Organik Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.



Gambar 4. Lokasi Pengambilan sampel di Jakarta



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel di Semarang



Gambar 6. Lokasi Pengambilan Sampel di Jepara

3.4. Variabel Penelitian/Parameter Yang Diamati

Parameter yang diamati berupa variabel penelitian terdiri dari variabel bebas :

Variabel A : kondisi lingkungan

- Klasifikasi A1 : sungai
- Klasifikasi A2 : muara
- Klasifikasi A3 : perairan pantai

Variabel B : tipologi kota

- Klasifikasi B1 : Metropolitan (Jakarta)
- Klasifikasi B2 : Besar (Semarang)
- Klasifikasi B3 : Kecil (Jepara).

Variabel C : perlakuan

- Klasifikasi C1 : aerasi
- Klasifikasi C2 : tanpa aerasi

Sebagai variabel tak bebas (terikat) adalah : laju biodegradasi koprostanol.

3.5. Jenis dan Sumber Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam analisis berupa data kualitatif dan kuantitatif yang diperoleh dari perlakuan di lapangan dan pengamatan percobaan laboratorium.

Tabel 4. Jenis dan Sumber Data

Jenis Data	Sumber Data	Keterangan
Primer	1. Pengamatan lapangan dan pengukuran lapangan	1. Kondisi fisik lingkungan : DO, pH, suhu, salinitas, dan kedalaman.
	2. Analisis Laboratorium	2. Konsentrasi koprostanol, TOC, ukuran dan jenis sedimen.
Sekunder	1. Pustaka	1. Hasil penelitian lain yang relevan.
	2. Buku laporan dari Instansi terkait yang meliputi : BPS, Bappeda, Bappedal, dan BMG.	2. Demografi sosial penduduk, curah hujan, pasang surut, arah dan Kecepatan angin, tata guna lahan dan data pendukung lain

3.6. Instrumen Penelitian

Materi utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel sedimen masing – masing sebanyak 5 kg beserta air masing – masing sebanyak 5 liter pada tiga kondisi lingkungan (sungai, muara dan perairan pantai), tiga tipologi kota (Jakarta, Semarang, dan Jepara) serta dua perlakuan (aerasi dan tanpa aerasi).

Tabel 5. Alat dan Bahan Penelitian

No.	Nama Alat dan Bahan	Kegunaan
1.	GPS (GARMIN)	Menentukan posisi
2.	WQC (<i>Water Quality Checker</i>)	Mengukur parameter lingkungan
3.	Grap Sampler	Mengambil sedimen
4.	Plastik	Tempat sample sedimen
5.	Derigen	Tempat sample air
6.	Sechi Disc	Mengukur kecerahan
7.	Cool Box	Mengawetkan sample
8.	Akuarium	Tempat perlakuan
9.	Aerator	Menghasilkan oksigen
10.	Oven	Mengeringkan sample
11.	UV Spektrofotometer	Mengukur kandungan koprostanol
12.	Rotary Evaporator	Mengeringkan ekstrak
13.	Sentrifuge	Memusingkan sample
14.	Vial	Tempat sample
15.	Timbangan	Menimbang sample
16.	Shaker	Mencampur larutan
17.	Beaker Glass dan Erlenmeyer	Tempat ekstrak
18.	Ether	Melarutkan koprostanol

3.7. Teknik Pengambilan Sampel

Sampel sedimen permukaan dasar perairan (0-4 cm dari permukaan) pada lingkungan sungai, muara dan perairan pantai diambil dengan menggunakan *Ekman grap sampler*, masing – masing stasiun sebanyak 5 kg, sedangkan sampel air diambil dengan menggunakan derigen plastik masing-masing stasiun sebanyak 5 liter. Penentuan stasiun sampling dilakukan dengan pertimbangan tertentu (*Purposive Sampling Metode*) yaitu pada stasiun sampling lingkungan sungai ditetapkan pada posisi hilir yang tidak dipengaruhi oleh kondisi perairan muara, sementara stasiun sampling perairan pantai dan kontrol ditentukan dengan metode *radial grid* sampling dari muara, dan stasiun kontrol ditetapkan $\pm 3,5$ km dari muara. Selanjutnya sampel ditaruh dalam botol dan disimpan dalam *cooler* selama di lapangan, langkah selanjutnya sample

ditempatkan dalam akuarium pada laboratorium dengan suhu kamar ($\pm 29^{\circ}\text{C}$), pada waktu-waktu yang telah ditentukan yaitu pada hari ke 0, 10, 20 dan 40 hari dilakukan pengambilan sampel sedimen dan pengukuran kualitas air.

3.8. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data dikumpulkan dengan mencatat hasil-hasil perlakuan di lapangan dan pengamatan di laboratorium kemudian dianalisis dengan metode berikut :

3.8.1 Tahapan Analisis Koprostanol

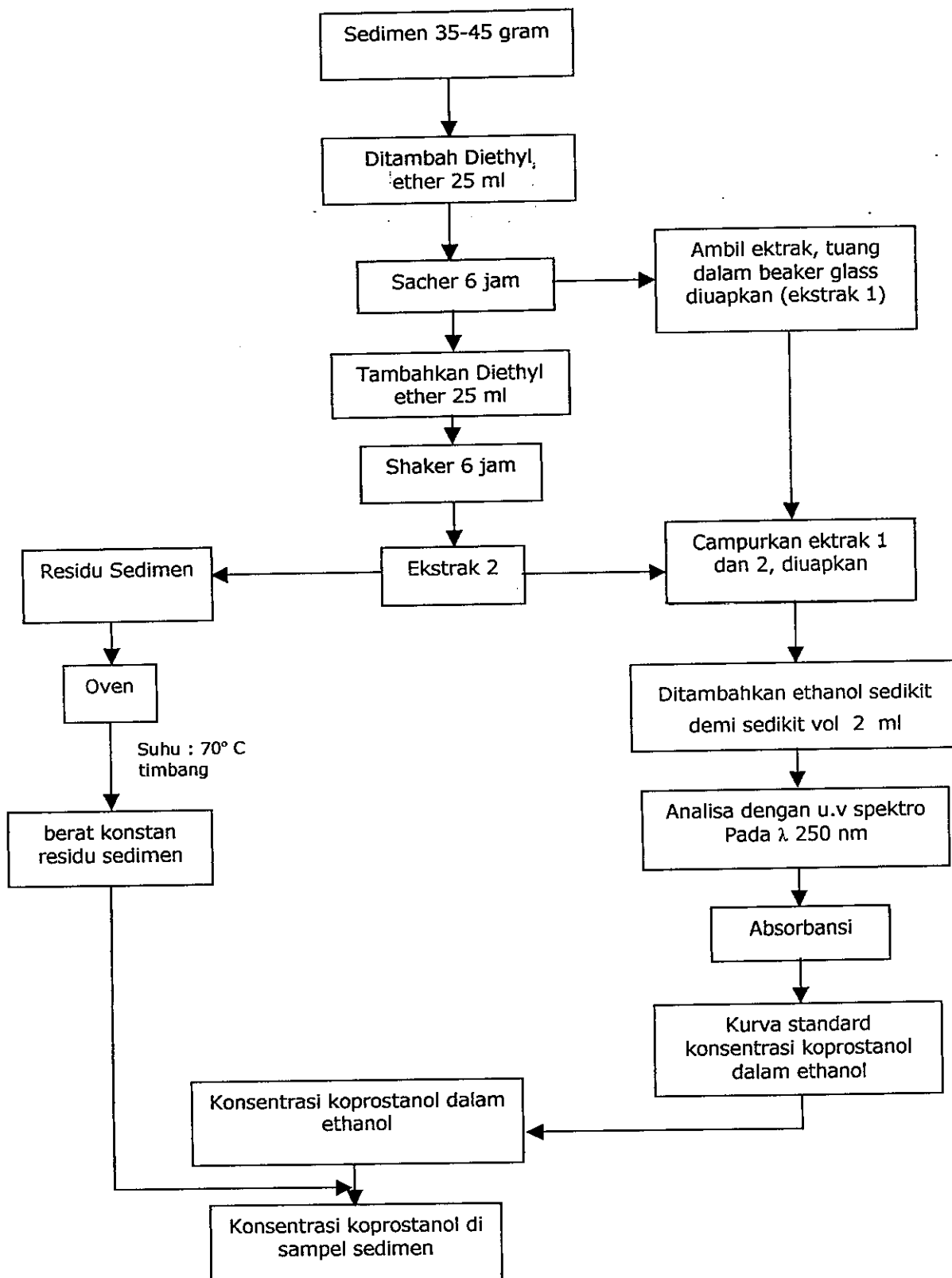
Prosedur tahapan analisis koprostanol yang akan dilakukan melalui dua tahap sesuai dengan (Gambar 7) adalah sebagai berikut :

a. Ekstraksi

1. Sampel sedimen ditimbang sebanyak $\pm 35\text{--}45$ gram (berat basah), kemudian ditampung dalam erlenmeyer ukuran 50 ml.
2. Tambahkan Diethyl ether sebanyak 25 ml untuk melarutkan koprostanol. Agar tercampur dishaker selama 6 jam dengan kecepatan 200 rev / menit.
3. Ambil ekstrak, tuangkan dalam beaker glass dan diuapkan (ekstrak 1).
4. Tambahkan lagi dalam sedimen Diethyl ether sebanyak 25 ml, disacher 6 jam.
5. Sisa dicampurkan dalam beaker glass yang sama, diuapkan (Ektrak 2).
6. Campurkan ekstrak 1 dan 2, kira – kira sebanyak 2 ml kemudian diuapkan.
7. Tuang dalam Cok Conikel 15 ml dan tambahkan ethanol sebesar 1 ml dari sedikit demi sedikit sampai volume 2 ml.
8. Dimasukkan dalam spektrofotometer untuk analisa UV spektro pada panjang gelombang 250 nm.
9. Sisa dari pembuatan ekstrak berupa residu sedimen dioven suhu 100°C selama 24 jam. Didapatkan berat kering sedimen yang stabil (BK sedimen).
10. Hasil BK sedimen dan berat koprosatanol dalam etahanol dimasukan dalam rumus untuk menghitung konsentrasi koprostanol dalam sedimen.

b. Analisis UV Spektrofotometer

1. Blanko (Ethanol PA) dimasukkan dalam cuvet sebanyak 1 ml.
2. Hasil ekstraksi sedimen yang sudah ditambah ethanol (PA) dimasukkan dalam cuvet sebanyak 1 ml. Diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang 250 nm dengan ethanol sebagai larutan blanko, sehingga diperoleh nilai absorbansi dari tiap sampel sedimen.
3. Didapatkan konsentrasi koprostanol (sedimen) dalam 2 ml ethanol.
4. Berat koprostanol dalam 2 ml ethanol dikonversikan menjadi konsentrasi koprostanol dalam sampel sedimen.



Gambar 7. Tahapan Analisis Koprostanol (Bachtiar, 2004 Unpublish).

3.8.2 Perhitungan Analisis Koprostanol

Ada dua tahapan perhitungan analisis koprostanol yang akan dilakukan yaitu analisa konsentrasi koprostanol dan perhitungan laju biodegradasi koprostanol secara alamiah, adalah sebagai berikut :

a. Analisa Konsentrasi Koprostanol

Berat koprostanol ditentukan dengan mengkonversi konsentrasi koprostanol dalam 2 ml Ethanol PA, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu\text{g} / \text{g} = X \text{ ppm}$$

$X \text{ ppm}$ = konsentrasi koprostanol dalam ethanol.
 g = berat ethanol yang digunakan sebagai pelarut
 (1 ml ethanol = 0,7851 gram)
 μg = berat koprostanol yang dicari

Berdasarkan hasil persamaan di atas, konsentrasi koprostanol dalam sedimen dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Konsentrasi koprostanol} = \frac{\text{Konsentrasi koprostanol dalam ethanol}}{\text{Berat kering residu sedimen}}$$

b. Perhitungan Laju Biodegradasi Koprostanol Secara Alamiah

Laju biodegradasi koprostanol secara alamiah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Laju Biodegradasi} = \frac{C_0 - C_t}{\Delta t}$$

C_0 = konsentrasi koprostanol pada hari ke-0.
 C_t = konsentrasi koprostanol pada hari ke-t.
 Δt = Periode waktu uji

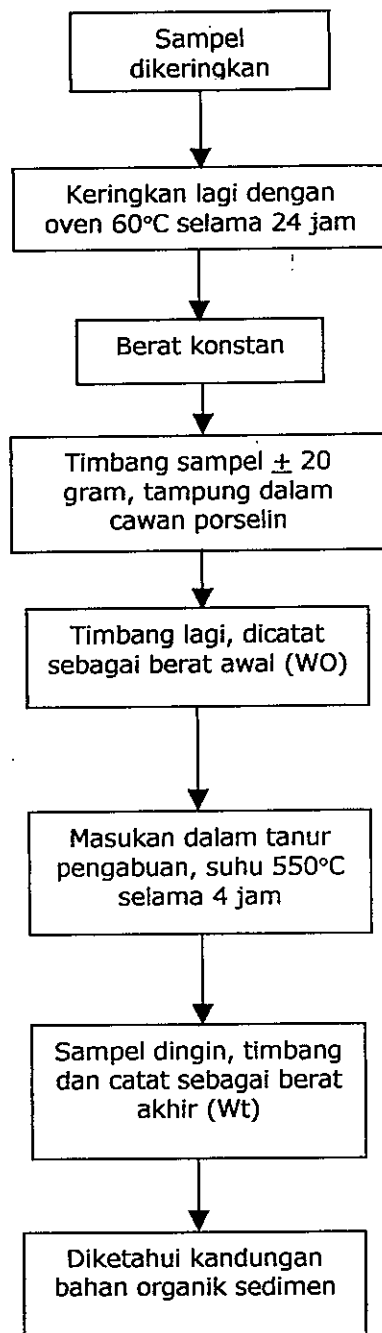
3.8.3. Tahapan Analisis Organik Total Sedimen

Metode yang digunakan untuk menganalisa kandungan bahan organik pada sedimen adalah metode pengabuan yang dimodifikasi (Utaminingsih, 1984 dalam Widodo dkk, 2003). Dalam metode ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Sampel dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian dilakukan pengeringan lagi dengan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 24 jam, untuk menghilangkan kandungan air yang tersisa sehingga diperoleh berat konstan.
2. Sampel ditimbang kurang lebih 20 gram dan menampungnya dalam cawan porselen.
3. Sampel dimasukkan ke dalam tanur pengabuan dengan suhu 550°C selama 4 jam, sebelum dimasukkan ke dalam tanur pengabuan, sampel ditimbang dan dicatat sebagai berat awal (W₀).
4. Sampel yang sudah diabukan dan suhunya sudah dingin, kemudian ditimbang dan dicatat sebagai berat akhir (W_t).
5. Nilai yang diperoleh dikonversikan ke dalam rumus untuk menghitung kandungan bahan organik.

$$Bo = \frac{W_0 - W_t}{W_t} \times 100 \%$$

Dimana : Bo = kandungan bahan organik total (%)
 W₀ = berat awal (gram)
 W_t = berat akhir (gram)



Gambar 8. Tahapan Analisis Organik Total Sedimen (Widodo dkk, 2003).

3.8.4. Tahapan Penentuan Ukuran dan Jenis Sedimen

Tahapan penentuan ukuran butir dan jenis sedimen dilakukan dengan dua tahap yaitu :

a. Tahap Pengayakan

Analisa ukuran butir dengan metode pengayakan sampel sedimen dilakukan dengan metode Buchanan (1984) dalam Holme dan McIntyre (1984) dengan prosedur sebagai berikut :

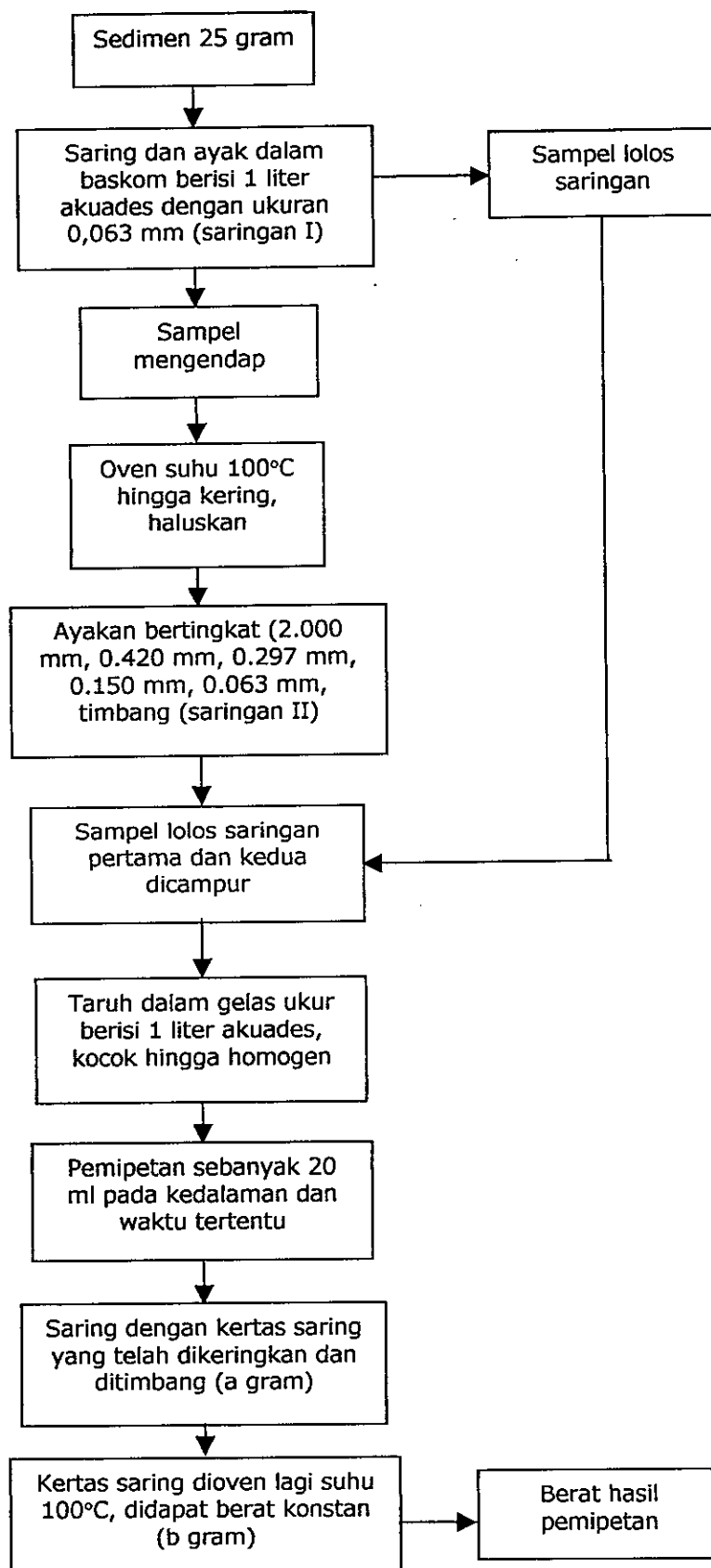
1. Sampel sedimen ditimbang sebanyak 25 gram, kemudian disaring dengan saringan 0,063 mm dan diayak dalam baskom yang diisi 1 liter akuades hingga menjadi dua bagian, yaitu sampel yang mengendap dan sampel yang lolos saringan.
2. Sampel yang tidak lolos saringan dimasukkan dalam oven pada temperatur 100°C hingga kering, kemudian dihaluskan.
3. Sampel diayak dengan saringan bertingkat mulai dari ayakan terbesar (2.000 mm, 0.420 mm, 0.297 mm, 0.150 mm, 0.063 mm), kemudian hasil ayakan masing-masing ditimbang.
4. Sampel yang lolos saringan paling bawah ditimbang dan dicampur dengan sampel yang lolos pada saringan pertama, kemudian dipindahkan dalam gelas ukur volume 1 liter, dikocok hingga homogen untuk dilakukan pemipetan.

b. Tahap Pemipetan

Metode analisa pemipetan dilakukan menurut prosedur Buchanan (1984) dalam Holme dan McIntyre (1984) dengan prosedur sebagai berikut :

1. Sampel sedimen yang lolos saringan pertama diayak dengan ayakan ukuran 0.063 mm, dicampur dengan sampel yang lolos pada saringan kedua (0.063 mm), dimasukkan ke dalam gelas ukur volume 1 liter berisi akuades, dikocok hingga homogen, setelah berada dalam kondisi homogen (tercampur sempurna) kemudian dilakukan pemipetan.
2. Pengambilan larutan homogen dilakukan dengan mengambil sebanyak 20 ml pada kedalaman tertentu dan waktu tertentu.
3. Hasil pemipetan disaring menggunakan kertas saring yang sebelumnya telah dikeringkan dalam oven dan ditimbang beratnya (a gram), secara berurutan waktu dan kedalamannya, kemudian kertas saring dioven kembali pada suhu 100°C hingga didapat berat kering.
4. Setelah dioven kertas saring ditimbang sampai didapatkan berat konstan (b gram), kemudian dilakukan perhitungan rerata yaitu :

$$\text{Berat hasil pemipetan} = b \text{ gram} - a \text{ gram}$$



Gambar 9. Tahapan Penentuan Ukuran dan Jenis Sedimen (Holme & McIntyre, 1984).

3.8.5. Analisis Statistik

Data yang diperoleh dianalisis dengan Sidik Ragam (ANOVA) dan uji antar perlakuan yang meliputi :

1. Uji beda persistensi koprostanol pada 3 (tiga) kondisi lingkungan yang berbeda yaitu sungai, muara dan perairan pantai.
2. Uji beda persistensi koprostanol pada 3 (tiga) tipologi kota dengan kondisi kontaminasi yang berbeda yaitu Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Kota Semarang) dan Kota Kecil (Jepara).

BAB IV.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Lokasi Penelitian Jakarta

Posisi stasiun penelitian ditentukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS), hasilnya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Posisi stasiun penelitian lokasi Jakarta

Stasiun	Posisi	
S1	6° 6',837" LS	106° 49',513" BT
S2	6° 6',814" LS	106° 49',711" BT
M1	6° 7',101" LS	106° 49',711" BT
M2	6° 7',135" LS	106° 49',719" BT
P1	6° 6',466" LS	106° 49',634" BT
P2	6° 6',567" LS	106° 49',562" BT

Sumber : Data Primer Pengukuran Lapangan, 2004

Kualitas perairan sungai dan muara Ciliwung serta perairan Pantai Marina Jakarta dapat ditunjukkan pada data Tabel 7. berikut ini.

Tabel 7. Data kualitas perairan di lokasi penelitian Jakarta

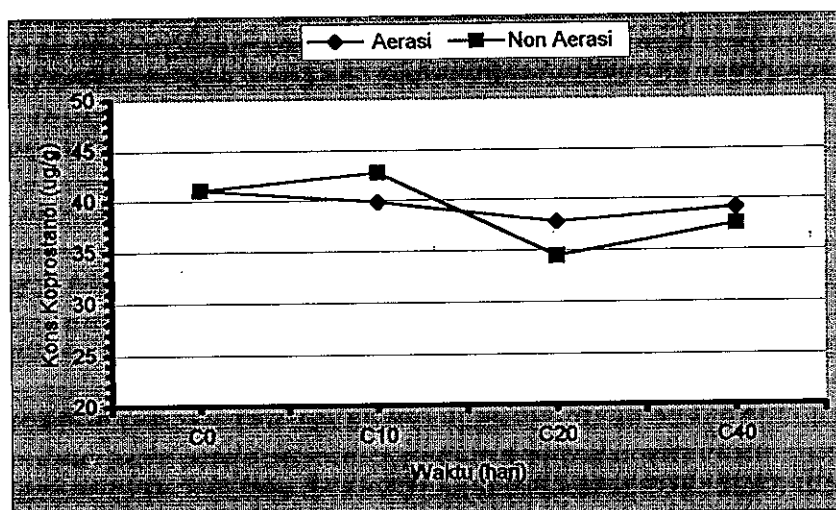
No.	Stasiun	Kedalaman (M)	DO (mg/liter)	Suhu (°C)	PH	Salinitas (%)
1.	Sungai	0.30	3.20	31.80	7.10	0.00
2.	Muara	2.70	4.84	32.10	7.70	26.00
3.	Pantai	5.00	3.55	31.60	7.60	29.00

Sumber : Data Primer Pengukuran Lapangan, 2004

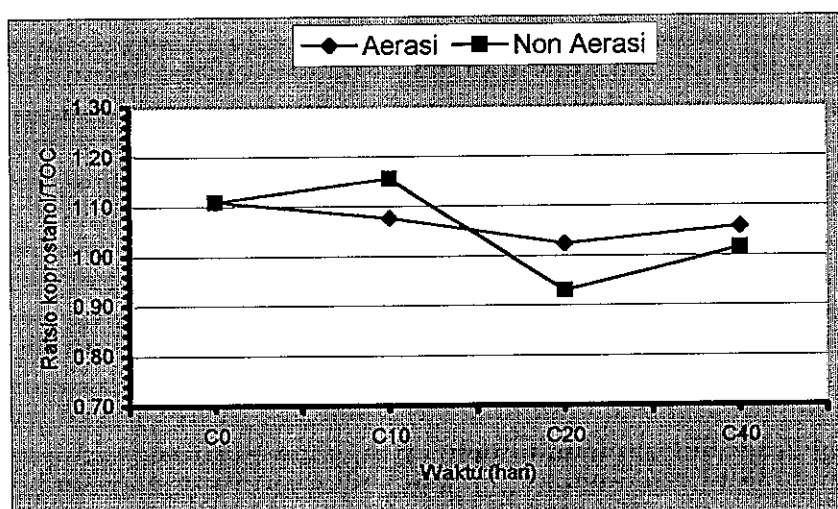
Koprostanol di perairan Jakarta dapat terdeteksi di sedimen sungai, muara dan perairan pantai baik perlakuan aerasi maupun non aerasi. Hasil perhitungan konsentrasi awal koprostanol pada lingkungan sungai berkisar antara 40.90–41.24 µg/g, kondisi lingkungan muara berkisar antara 45.45–46.19 µg/g, dan kondisi perairan pantai berkisar antara 37.64–38.05 µg/g. Hasil analisis konsentrasi koprostanol selengkapnya disajikan pada Lampiran 1.

Grafik penurunan konsentrasi koprostanol di lingkungan sungai, muara dan perairan pantai selama 40 hari dan rasio koprostanol terhadap TOC awal dengan perbedaan perlakuan aerasi dan non aerasi dapat dilihat pada Gambar 10,11 dan 12.

Konsentrasi koprostanol pada lingkungan sungai dengan perlakuan non aerasi pada hari ke-10 mengalami kenaikan, sedangkan pada perlakuan dengan aerasi terjadi penurunan konsentrasi. Setelah mengalami penurunan konsentrasi pada hari ke-20, konsentrasi koprostanol pada kedua perlakuan (aerasi dan non aerasi) kembali mengalami kenaikan pada hari ke-40. Hal yang sama terjadi pada konsentrasi koprostanol pada lingkungan muara, pada hari ke-10 konsentrasi pada perlakuan non aerasi mengalami kenaikan dan terjadi penurunan konsentrasi pada perlakuan dengan aerasi. Kedua perlakuan pada lingkungan muara ini juga mengalami kenaikan konsentrasi koprostanol pada hari ke-40, setelah konsentrasinya menurun pada hari ke-20. Sedangkan pada kondisi lingkungan perairan pantai konsentrasi pada kedua perlakuan (aerasi dan non aerasi) relatif menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Secara keseluruhan pada hari ke-40 konsentrasi koprostanol pada kondisi non aerasi lebih rendah jika dibandingkan aerasi, kecuali pada kondisi lingkungan muara.

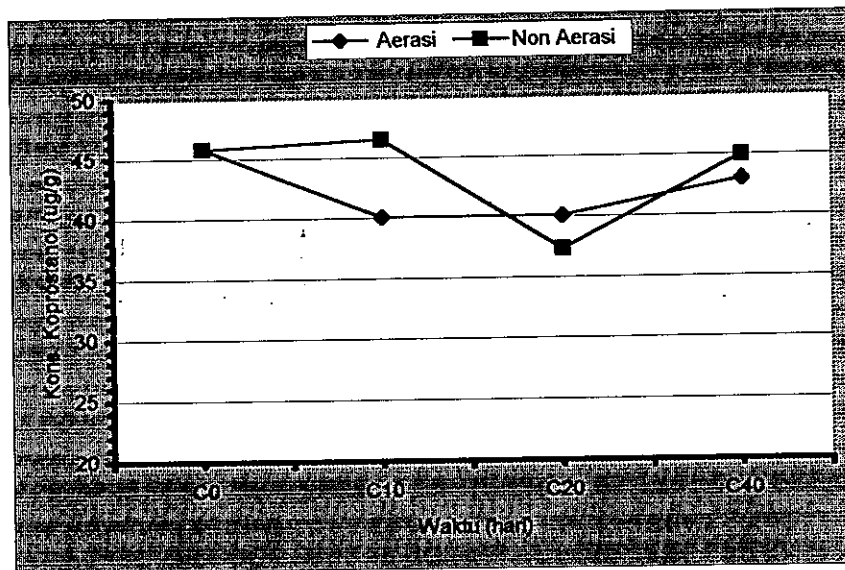


(a)

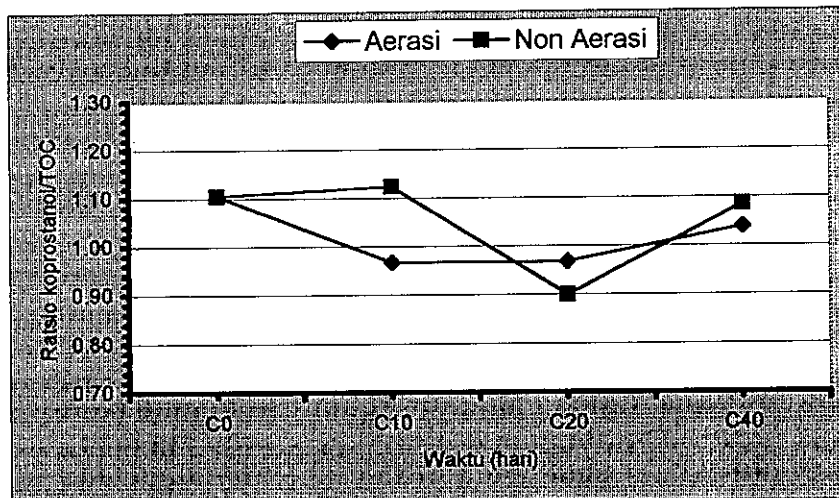


(b)

Gambar 10. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen sungai lokasi Jakarta

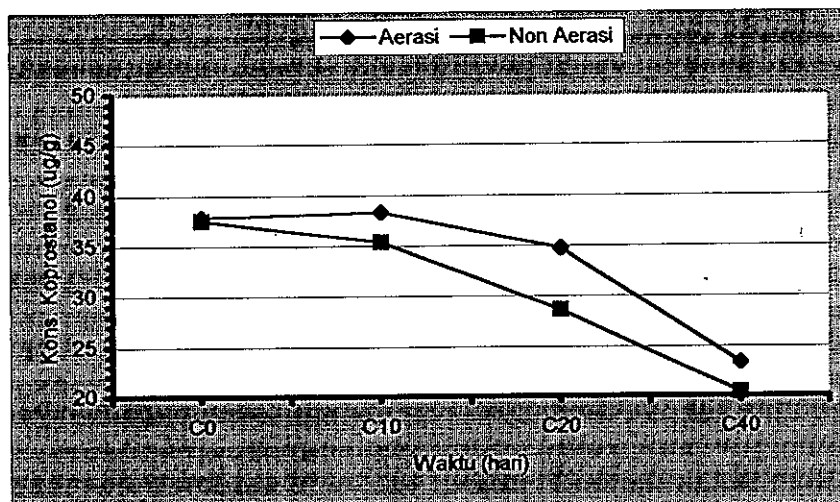


(a)

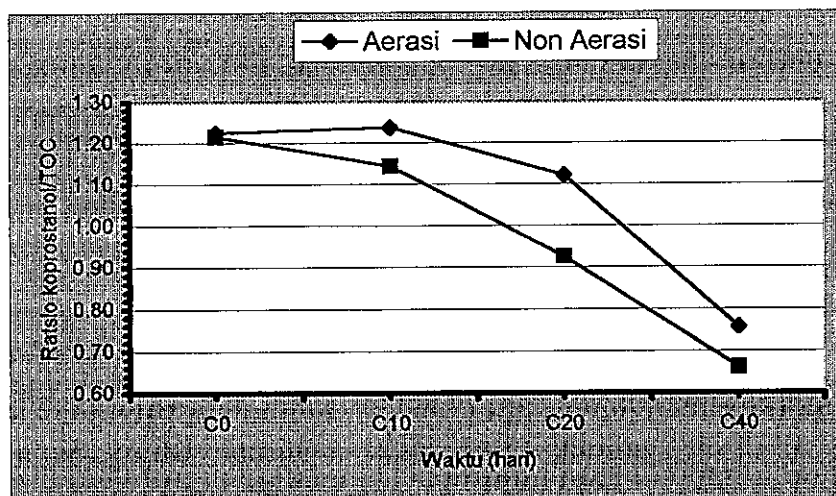


(b)

Gambar 11. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen muara lokasi Jakarta



(a)



(b)

Gambar 12 Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen perairan pantai lokasi Jakarta

Laju biodegradasi koprostanol pada sedimen kondisi lingkungan sungai, muara dan perairan pantai serta perlakuan aerasi dan non aerasi yang dihitung selama 40 hari perlakuan dapat dilihat pada Tabel 8.

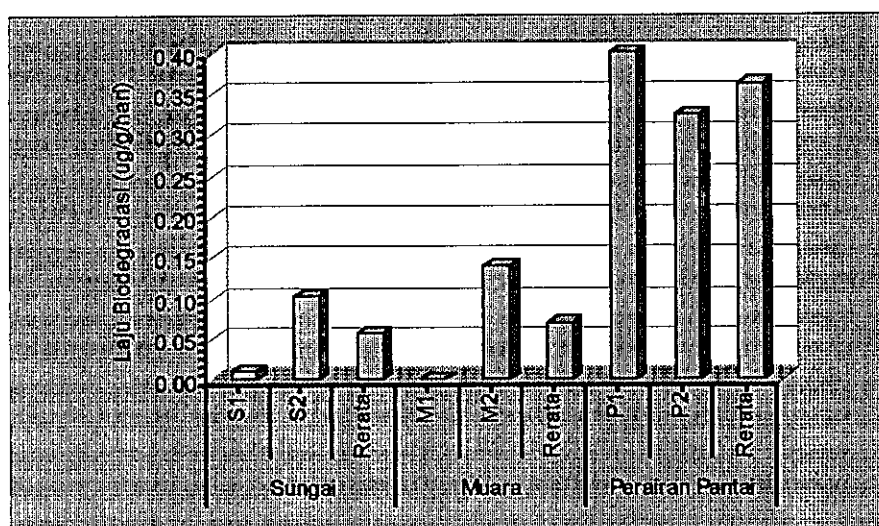
Tabel 8. Laju biodegradasi koprostanol lokasi Jakarta

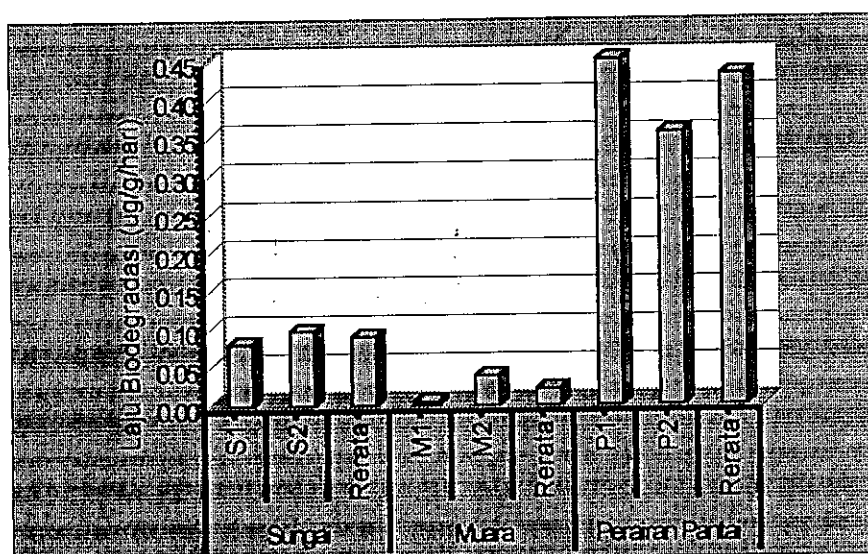
		Laju Biodegradasi Koprostanol ($\mu\text{g/g/hari}$)	
	Lokasi	Aerasi	Non Aerasi
Sungai	S1	0.009	0.080
	S2	0.103	0.097
	Rerata	0.056	0.089
Muara	M1	0.0003	0.004
	M2	0.140	0.038
	Rerata	0.070	0.021
Perairan	P1	0.400	0.505
Pantai	P2	0.324	0.355
	Rerata	0.362	0.430

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

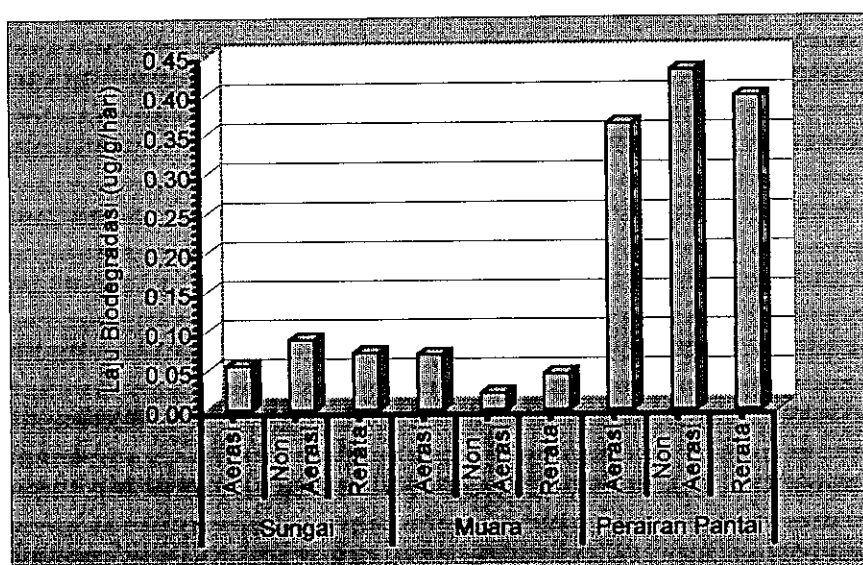
Laju biodegradasi koprostanol pada perlakuan aerasi tertinggi pada stasiun P1 yaitu sebesar 0,400 $\mu\text{g/g/hari}$, sedangkan terendah pada stasiun M1 yaitu sebesar 0,0003 $\mu\text{g/g/hari}$. Laju biodegradasi koprostanol pada perlakuan non aerasi tertinggi pada stasiun P1 yaitu sebesar 0,505 $\mu\text{g/g/hari}$, sedangkan terendah pada stasiun M1 yaitu sebesar 0,004 $\mu\text{g/g/hari}$.

Grafik laju biodegradasi koprostanol berdasarkan perbedaan kondisi lingkungan (sungai, muara dan perairan pantai) dan perbedaan perlakuan (aerasi dan non aerasi) yang disajikan pada Gambar 13, 14 dan 15 menunjukkan bahwa laju biodegradasi tertinggi terdapat pada kondisi lingkungan perairan pantai dengan perlakuan non aerasi yaitu sebesar 0,430 $\mu\text{g/g/hari}$ dan laju biodegradasi terendah terdapat pada kondisi lingkungan muara dengan perlakuan non aerasi yaitu sebesar 0,021 $\mu\text{g/g/hari}$.

**Gambar 13.** Grafik laju biodegradasi koprostanol perlakuan aerasi



Gambar 14. Grafik laju biodegradasi koprostanol perlakuan non aerasi



Gambar 15. Grafik laju biodegradasi koprostanol lokasi Jakarta

Sebagai data pendukung, dilakukan analisa kandungan organik total sedimen (TOC) dan pengukuran butir sedimen. Adapun kondisi kandungan organik dan ukuran butir sedimen sungai dan muara Ciliwung serta perairan Pantai Marina dapat ditunjukkan pada Tabel 9. berikut.

Tabel 9. Kandungan organik total dan ukuran butir sedimen di lokasi penelitian Jakarta

No.	Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (Phi)			Keterangan
			Sand	Silt	Clay	
1.	Sungai	37.02	10.42	21.39	68.20	Silty clay
2.	Muara	41.44	10.73	20.06	69.22	Silty clay
3.	Pantai	30.95	12.05	22.88	65.08	Silty clay
4.	Kontrol	40.24	6.39	17.40	76.21	Silty clay

Sumber : Data Primer Hasil Analisa Laboratorium, 2004.

4.1.2. Lokasi Penelitian Semarang

Posisi stasiun penelitian ditentukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS), hasilnya ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Posisi stasiun penelitian lokasi Semarang

Stasiun	Posisi	
S1	6° 59',788" LS	110° 26',353" BT
S2	6° 59',814" LS	106° 26',711" BT
M1	6° 56',097" LS	106° 26',750" BT
M2	6° 56',113" LS	106° 26',729" BT
P1	6° 55',242" LS	106° 26',550" BT
P2	6° 55',256" LS	106° 26',573" BT

Sumber : Data Primer Pengukuran Lapangan, 2004

Kualitas perairan sungai, muara pada lokasi penelitian (Banjir Kanal Timur) serta perairan pantai di Kota Semarang dapat ditunjukkan pada data Tabel 11. berikut ini.

Tabel 11. Data kualitas perairan di lokasi penelitian Semarang

No.	Stasiun	Kedalaman (M)	DO (mg/liter)	Suhu (°C)	PH	Salinitas (%)
1.	Sungai	0.30	0.70	30.40	7.50	0.00
2.	Muara	1.00	1.50	33.20	7.30	27.00
3.	Pantai	5.00	2.20	31.80	7.60	29.00

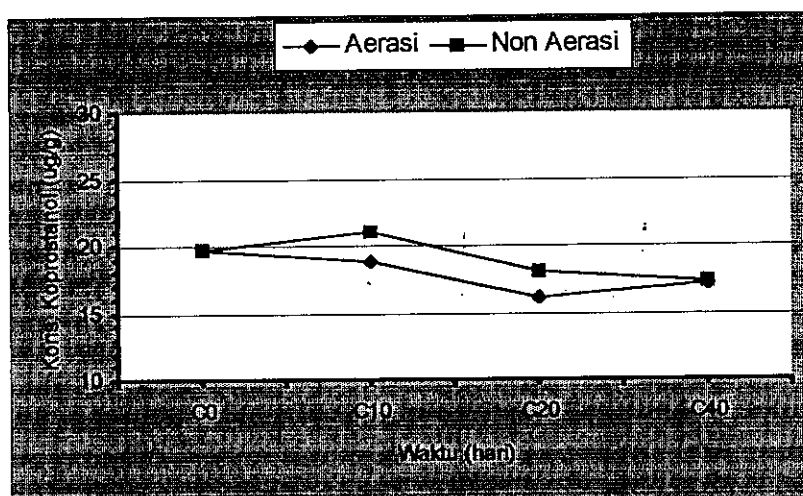
Sumber : Data Primer Pengukuran Lapangan, 2004

Koprostanol di perairan Semarang dapat terdeteksi di sedimen sungai, muara dan perairan pantai baik perlakuan aerasi maupun non aerasi. Hasil perhitungan konsentrasi awal koprostanol pada lingkungan sungai berkisar antara 19.59–19.93 µg/g, kondisi lingkungan muara berkisar antara 17.87–18.00

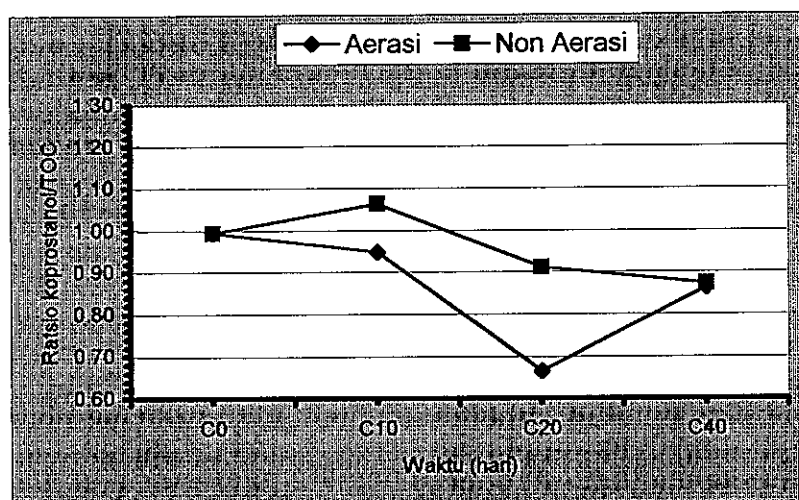
$\mu\text{g/g}$, dan kondisi perairan pantai berkisar antara 26.39–26.56 $\mu\text{g/g}$. Hasil analisis konsentrasi koprostanol selengkapnya disajikan pada Lampiran 1.

Grafik penurunan konsentrasi koprostanol di lingkungan sungai, muara dan perairan pantai selama 40 hari dan rasio koprostanol terhadap TOC awal dengan perbedaan perlakuan aerasi dan non aerasi dapat dilihat pada Gambar 16,17 dan 18.

Konsentrasi koprostanol pada lingkungan sungai dengan perlakuan non aerasi pada hari ke-10 mengalami kenaikan dan kemudian terus mengalami penurunan sampai hari ke-40, sedangkan pada perlakuan dengan aerasi pada hari ke-10 konsentrasi koprostanol mengalami penurunan hingga hari ke-20 dan naik lagi pada hari ke-40. Pada kondisi lingkungan muara, pada hari ke-10 konsentrasi koprostanol pada perlakuan non aerasi dan aerasi mengalami kenaikan dan mengalami penurunan pada hari ke-20, naik lagi pada hari ke-40. Pada kondisi lingkungan perairan pantai konsentrasi pada perlakuan non aerasi pada hari ke-10 mengalami penurunan, naik lagi pada hari ke-20 dan turun pada hari ke-40. Sedangkan pada perlakuan aerasi pada hari ke-10 mengalami penurunan, dan seterusnya menurun sampai hari ke-40.

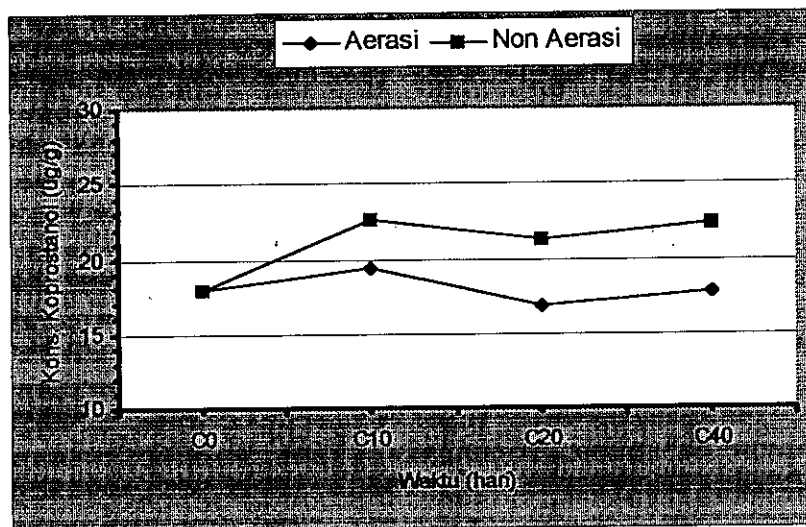


(a)

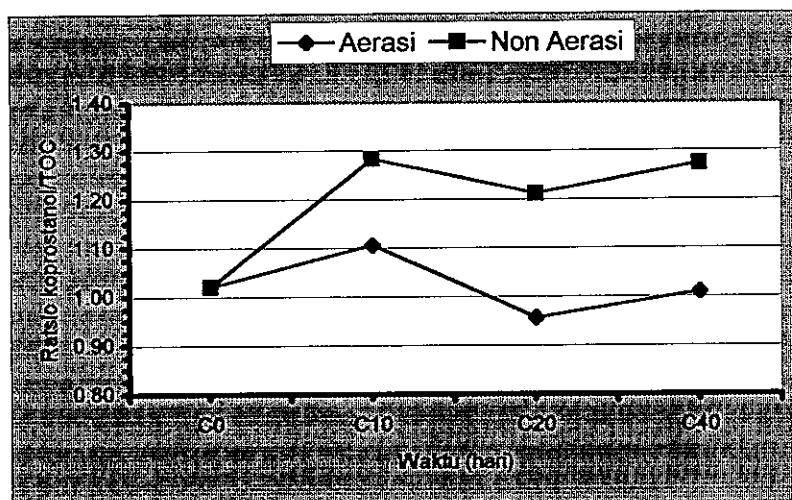


(b)

Gambar 16. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen sungai lokasi Semarang

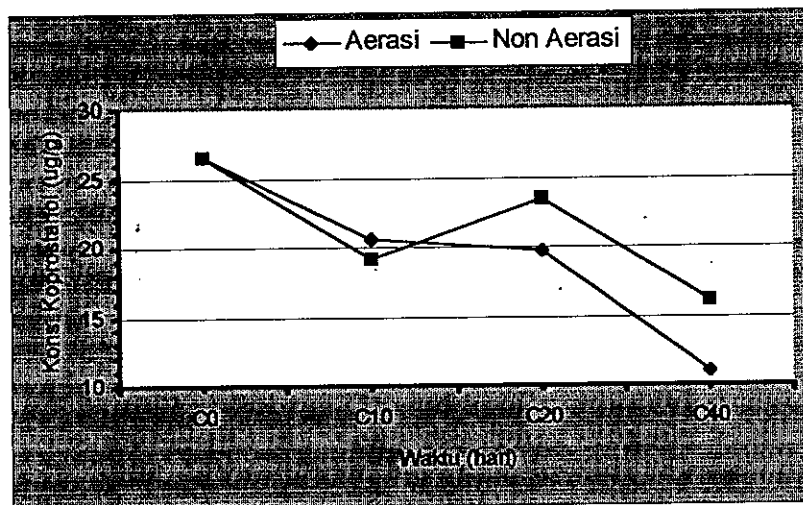


(a)

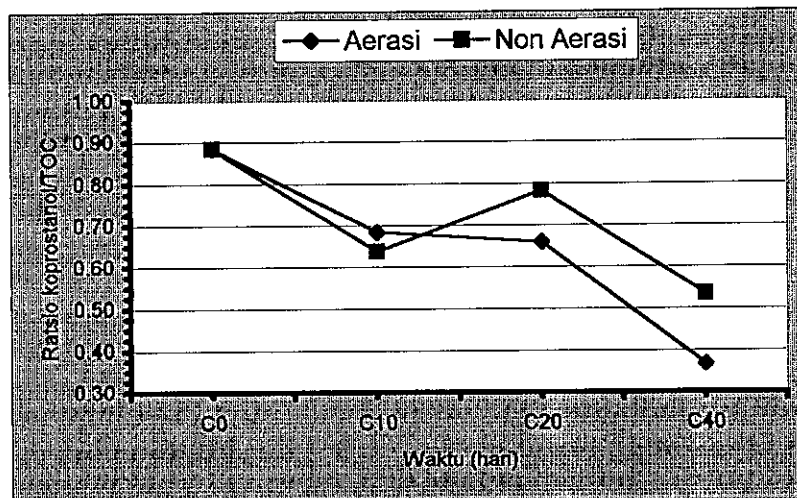


(b)

Gambar 17. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen muara lokasi Semarang



(a)



(b)

Gambar 18. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen perairan pantai lokasi Semarang

Laju biodegradasi koprostanol pada sedimen kondisi lingkungan sungai, muara dan perairan pantai serta perlakuan aerasi dan non aerasi yang dihitung selama 40 hari perlakuan dapat dilihat pada Tabel 12.

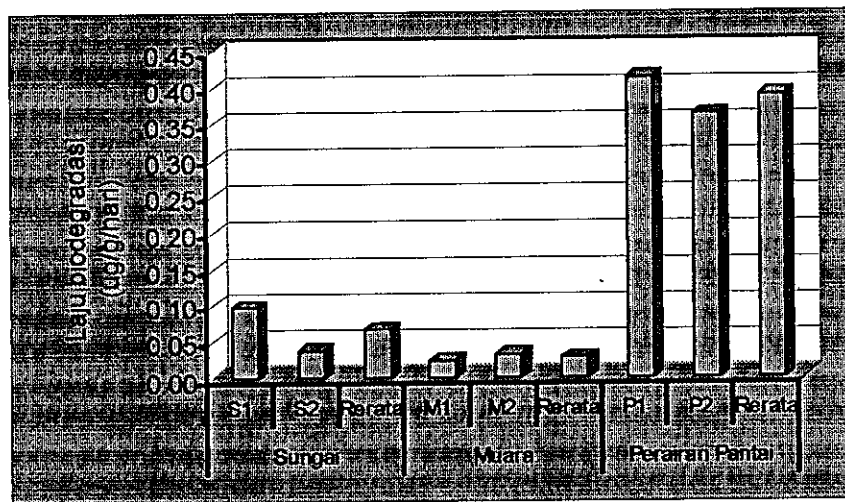
Tabel 12. Laju biodegradasi koprostanol lokasi Semarang

		Laju Biodegradasi Koprostanol ($\mu\text{g/g/hari}$)	
	Lokasi	Aerasi	Non Aerasi
Sungai	S1	0.096	0.089
	S2	0.037	0.034
	Rerata	0.066	0.062
Muara	M1	0.023	0.004
	M2	0.031	0.003
	Rerata	0.027	0.003
Perairan	P1	0.413	0.151
Pantai	P2	0.362	0.372
	Rerata	0.388	0.261

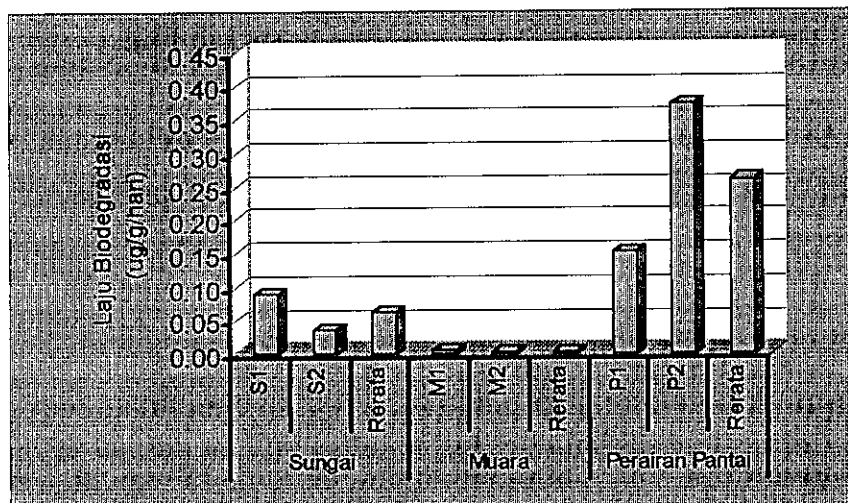
Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

Laju biodegradasi koprostanol pada perlakuan aerasi tertinggi pada stasiun P1 yaitu sebesar 0,413 $\mu\text{g/g/hari}$, sedangkan terendah pada stasiun M1 yaitu sebesar 0,023 $\mu\text{g/g/hari}$. Laju biodegradasi koprostanol pada perlakuan non aerasi tertinggi pada stasiun P2 yaitu sebesar 0,372 $\mu\text{g/g/hari}$, sedangkan terendah pada stasiun M2 yaitu sebesar 0,004 $\mu\text{g/g/hari}$.

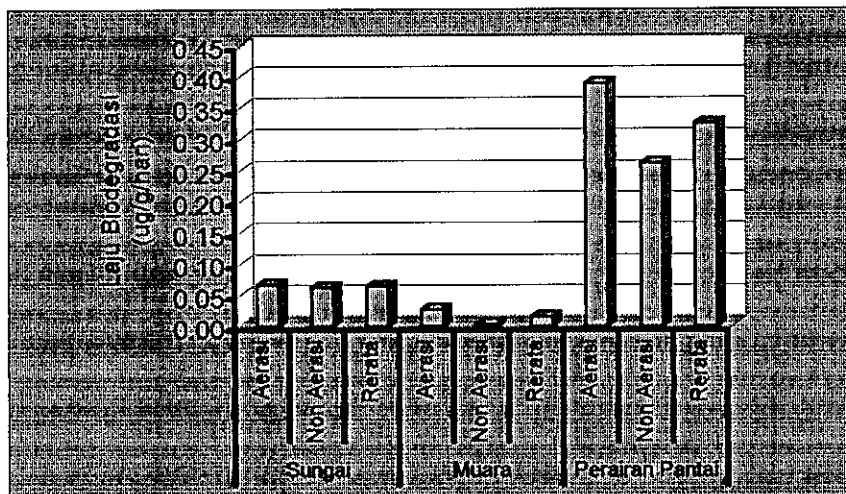
Grafik laju biodegradasi koprostanol berdasarkan perbedaan kondisi lingkungan (sungai, muara dan perairan pantai) dan perbedaan perlakuan (aerasi dan non aerasi) yang disajikan pada Gambar 19, 20 dan 21 menunjukkan bahwa laju biodegradasi tertinggi terdapat pada kondisi lingkungan perairan pantai dengan perlakuan aerasi yaitu sebesar 0,388 $\mu\text{g/g/hari}$ dan laju biodegradasi terendah terdapat pada kondisi lingkungan muara dengan perlakuan non aerasi yaitu sebesar 0,003 $\mu\text{g/g/hari}$.



Gambar 19. Grafik laju biodegradasi koprostanol perlakuan aerasi



Gambar 20. Grafik laju biodegradasi koprostanol perlakuan non aerasi



Gambar 21. Grafik laju biodegradasi koprostanol lokasi Semarang

Sebagai data pendukung, dilakukan analisa kandungan organik total sedimen (TOC) dan pengukuran butir sedimen. Adapun kondisi kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan pantai, sungai dan muara Banjir kanal Timur dapat ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Kandungan organik total dan ukuran butir sedimen di lokasi penelitian Semarang

No.	Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (Phi)		
			Sand	Silt	Clay
1.	Sungai	19.88	40.44	21.63	37.93
2.	Muara	17.58	47.98	21.06	30.97
3.	Pantai	29.93	41.94	20.92	37.14
4.	Kontrol	33.01	41.30	18.19	40.51
	Rerata	25.10	42.92	20.45	46.77

Sumber : Data Primer Hasil Analisa Laboratorium, 2004.

4.1.3. Lokasi Penelitian Jepara

Posisi stasiun penelitian ditentukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS), hasilnya ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Posisi stasiun penelitian lokasi Jepara

Stasiun	Posisi	
S1	6° 35',918" LS	110° 39',909" BT
S2	6° 35',924" LS	106° 39',903" BT
M1	6° 35',829" LS	106° 39',323" BT
M2	6° 35',812" LS	106° 39',313" BT
P1	6° 35',242" LS	106° 38',550" BT
P2	6° 35',256" LS	106° 38',352" BT

Sumber : Data Primer Pengukuran Lapangan, 2004

Kualitas perairan sungai, muara pada lokasi penelitian (Sungai Demaan) serta perairan pantai Jepara dapat ditunjukkan pada data Tabel 15. berikut ini.

Tabel 15. Data kualitas perairan di lokasi penelitian Jepara

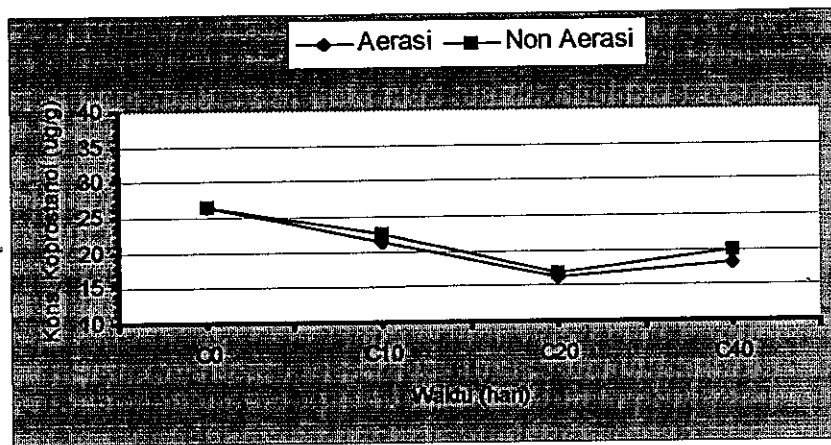
No.	Stasiun	Kedalaman (M)	DO (mg/liter)	Suhu (°C)	PH	Salinitas (%)
1.	Sungai	1.40	1.70	33.00	7.30	20.00
2.	Muara	1.90	4.80	32.00	7.20	28.00
3.	Pantai	7.00	4.70	30.00	7.10	31.00

Sumber : Data Primer Pengukuran Lapangan, 2004

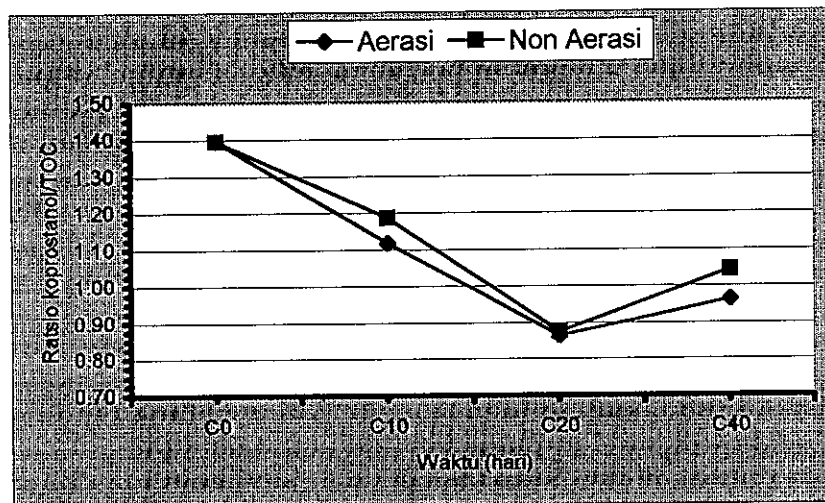
Koprostanol di perairan Jepara dapat terdeteksi di sedimen sungai, muara dan perairan pantai baik perlakuan aerasi maupun non aerasi. Hasil perhitungan konsentrasi awal koprostanol pada lingkungan sungai berkisar antara 26.08–26.73 $\mu\text{g/g}$, kondisi lingkungan muara berkisar antara 35.03–35.35 $\mu\text{g/g}$, dan kondisi perairan pantai berkisar antara 31.27–31.49 $\mu\text{g/g}$. Hasil analisis konsentrasi koprostanol selengkapnya disajikan pada Lampiran 1.

Grafik penurunan konsentrasi koprostanol di lingkungan sungai, muara dan perairan pantai selama 40 hari dan rasio koprostanol terhadap TOC awal dengan perbedaan perlakuan aerasi dan non aerasi dapat dilihat pada Gambar 22, 23 dan 24.

Konsentrasi koprostanol pada lingkungan sungai dengan perlakuan non aerasi dan aerasi sama, pada hari ke-10 mengalami penurunan, kemudian terus mengalami penurunan pada hari ke-20, sedangkan pada hari ke-40 mengalami kenaikan. Pada kondisi lingkungan muara, pada hari ke-10 konsentrasi koprostanol baik pada perlakuan aerasi maupun non aerasi mengalami penurunan sampai hari ke-20, sedangkan pada hari ke-40, baik perlakuan aerasi maupun non aerasi mengalami kenaikan. Pada kondisi lingkungan perairan pantai konsentrasi pada perlakuan non aerasi pada hari ke-10 mengalami penurunan, naik lagi pada hari ke-20 dan turun pada hari ke-40. Sedangkan pada perlakuan aerasi pada hari ke-10 mengalami penurunan, dan seterusnya menurun sampai hari ke-20. Hari ke-40 mengalami kenaikan.

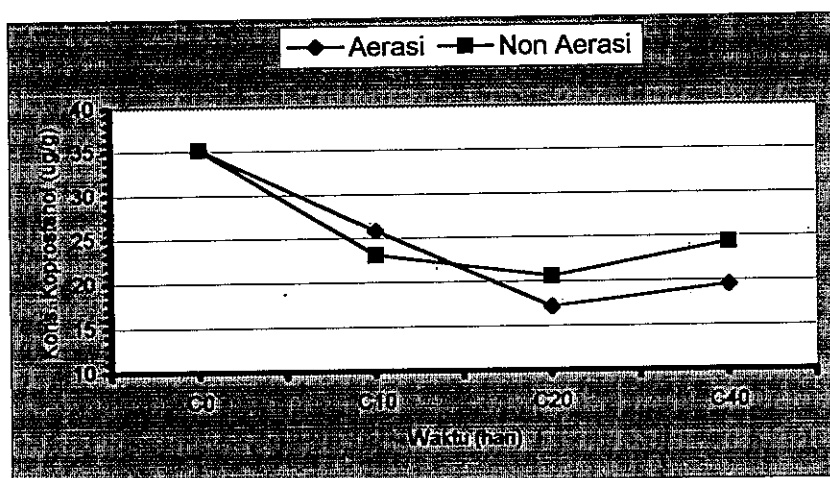


(a)

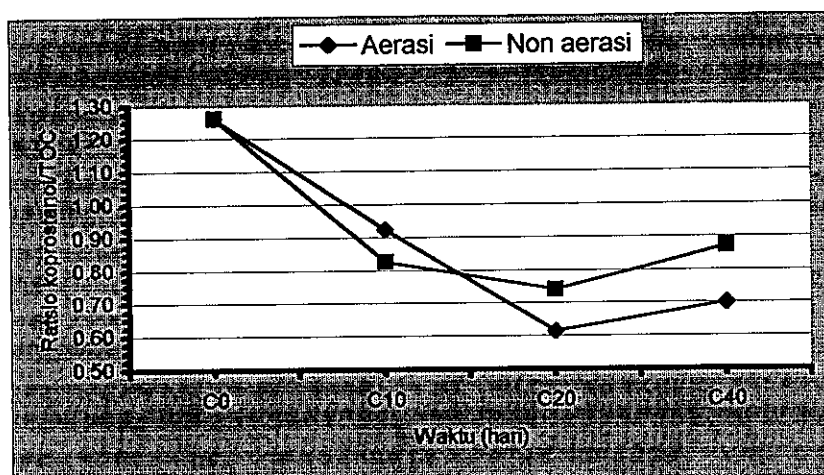


(b)

Gambar 22. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC pada sedimen sungai lokasi Jepara

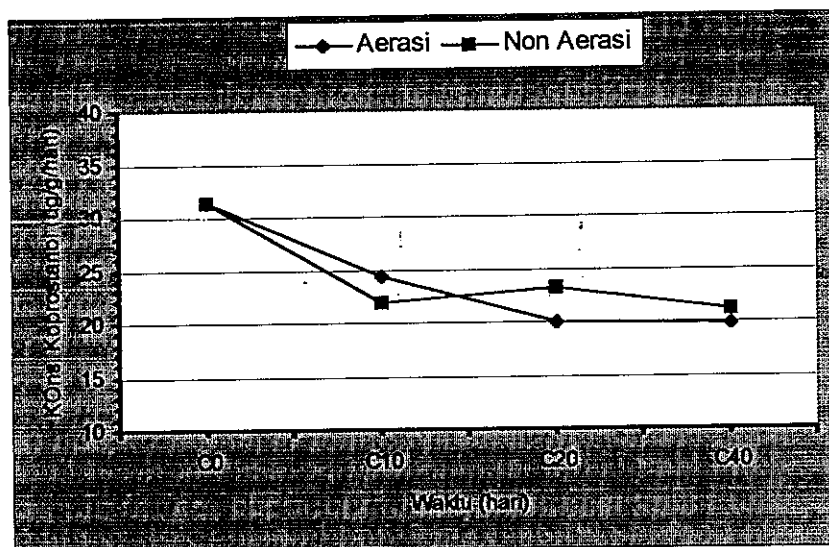


(a)

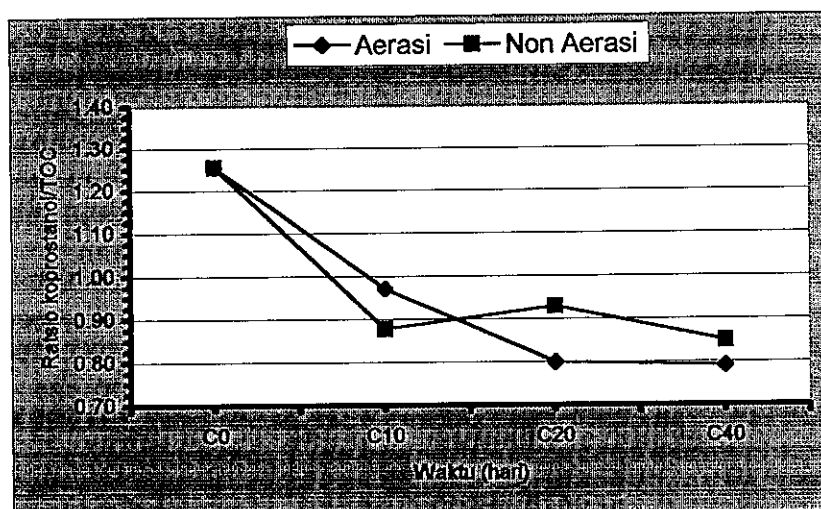


(b)

Gambar 23. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen muara lokasi Jepara



(a)



(b)

Gambar 24. Grafik perubahan konsentrasi koprostanol (a) dan rasio koprostanol/TOC (b) pada sedimen perairan pantai lokasi Jepara

Laju biodegradasi koprostanol pada sedimen kondisi lingkungan sungai, muara dan perairan pantai serta perlakuan aerasi dan non aerasi yang dihitung selama 40 hari perlakuan dapat dilihat pada Tabel 16.

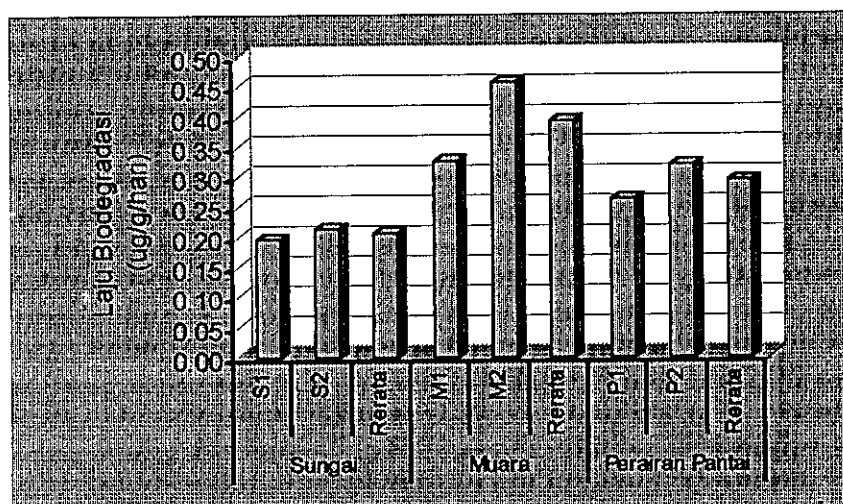
Tabel 16. Laju biodegradasi koprostanol lokasi Jepara

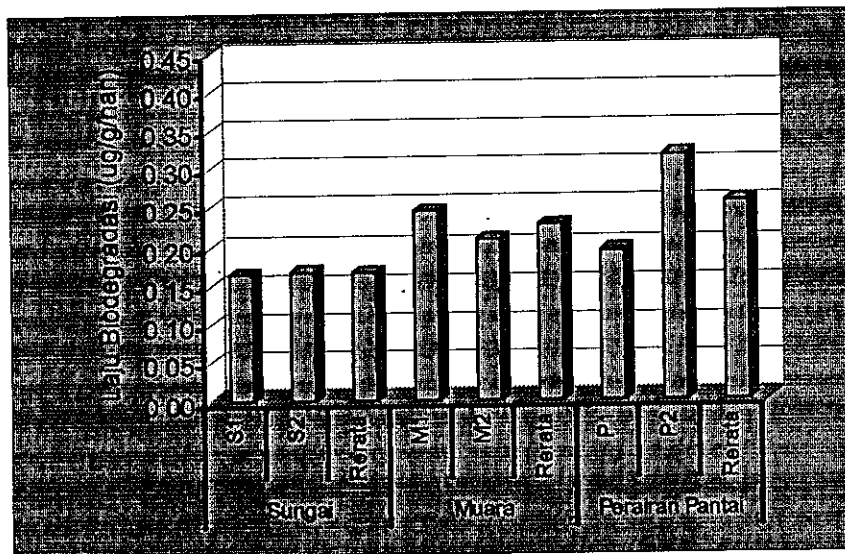
		Laju Biodegradasi Koprostanol ($\mu\text{g/g/hari}$)	
	Lokasi	Aerasi	Non Aerasi
Sungai	S1	0.196	0.163
	S2	0.211	0.168
	Rerata	0.204	0.166
Muara	M1	0.326	0.245
	M2	0.456	0.209
	Rerata	0.391	0.227
Perairan	P1	0.263	0.194
Pantai	P2	0.319	0.316
	Rerata	0.291	0.255

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

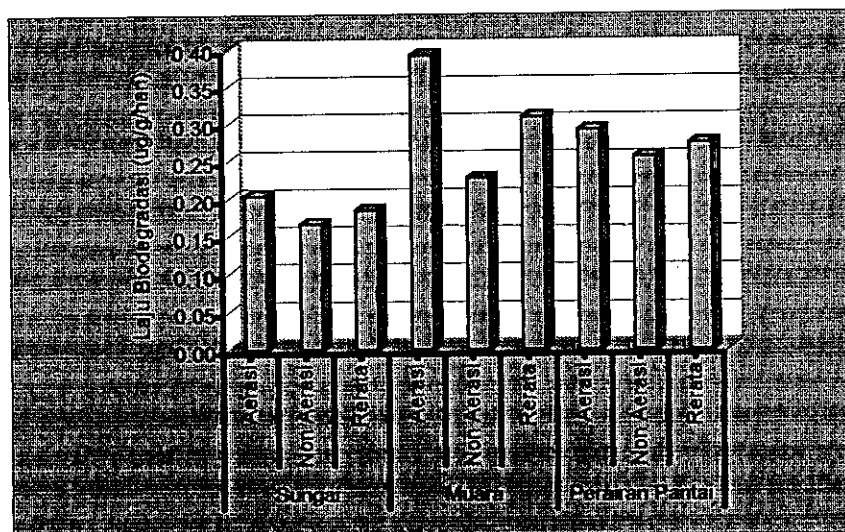
Laju biodegradasi koprostanol pada perlakuan aerasi tertinggi pada stasiun M2 yaitu sebesar $0,456 \mu\text{g/g/hari}$, sedangkan terendah pada stasiun S1 yaitu sebesar $0,196 \mu\text{g/g/hari}$. Laju biodegradasi koprostanol pada perlakuan non aerasi tertinggi pada stasiun P2 yaitu sebesar $0,316 \mu\text{g/g/hari}$, sedangkan terendah pada stasiun S1 yaitu sebesar $0,163 \mu\text{g/g/hari}$

Grafik laju biodegradasi koprostanol berdasarkan perbedaan kondisi lingkungan (sungai, muara dan perairan pantai) dan perbedaan perlakuan (aerasi dan non aerasi) yang disajikan pada Gambar 25, 26 dan 27 menunjukkan bahwa laju biodegradasi tertinggi terdapat pada kondisi lingkungan muara dengan perlakuan aerasi yaitu sebesar $0,391 \mu\text{g/g/hari}$ dan laju biodegradasi terendah terdapat pada kondisi lingkungan sungai dengan perlakuan non aerasi yaitu sebesar $0,166 \mu\text{g/g/hari}$.

**Gambar 25.** Grafik laju biodegradasi koprostanol perlakuan aerasi



Gambar 26. Grafik laju biodegradasi koprostanol perlakuan non aerasi



Gambar 27. Grafik laju biodegradasi koprostanol lokasi Jepara

Sebagai data pendukung, dilakukan analisa kandungan organik total sedimen (TOC) dan pengukuran butir sedimen. Adapun kondisi kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan pantai, sungai dan muara Demaan dapat ditunjukkan pada Tabel 17. berikut.

Tabel 17. Kandungan organik total dan ukuran butir sedimen di lokasi penelitian Jepara

No.	Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (Phi)		
			Sand	Silt	Clay
1.	Sungai	19.02	29.00	27.85	43.16
2.	Muara	27.92	12.15	26.96	60.90
3.	Pantai	25.01	13.94	27.86	58.21
4.	Kontrol	23.96	21.55	22.91	55.54
	Rerata	23.98	19.16	26.40	55.54

Sumber : Data Primer Hasil Analisa Laboratorium, 2004.

4.2. Hasil Analisis Statistik Penelitian

Hasil analisis statistik penelitian terhadap biodegradasi alamiah koprostanol berdasarkan perbedaan tipologi kota (Metropolitan (Jakarta), Besar (Semarang) dan Kecil (Jepara), perbedaan kondisi lingkungan (lingkungan sungai, muara dan perairan pantai), dan perbedaan perlakuan (aerasi dan non aerasi) dapat dilihat pada Tabel 18, 19 dan 20.

Tabel 18. Pengaruh tipologi kota terhadap laju biodegradasi koprostanol secara alamiah

Tipologi Kota	Rerata Laju Biodegradasi Koprostanol ($\mu\text{g/g/hari}$)
Metropolitan (Jakarta)	0.171 ± 0.167^a
Kota Besar (Semarang)	0.135 ± 0.149^b
Kota Kecil (Jepara)	0.256 ± 0.082^c

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

Tabel 19. Pengaruh kondisi lingkungan terhadap laju biodegradasi koprostanol secara alamiah

Kondisi Lingkungan	Rerata Laju Biodegradasi Koprostanol ($\mu\text{g/g/hari}$)
Sungai	0.107 ± 0.062^a
Muara	0.123 ± 0.494^b
Perairan Pantai	0.331 ± 0.092^c

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

Tabel 20. Pengaruh perlakuan aerasi dan non aerasi terhadap laju biodegradasi koprostanol secara alamiah

Tipologi Kota	Rerata Laju Biodegradasi Koprostanol ($\mu\text{g/g/hari}$)
Aerasi	0.206 ± 0.211^a
Non Aerasi	0.168 ± 0.193^a

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

Hasil analisis statistik penelitian terhadap jumlah organik total (TOC) yang berada di sedimen berdasarkan perbedaan tipologi kota (Metropolitan (Jakarta), Besar (Semarang), Kecil (Jepara) dan perbedaan kondisi lingkungan (lingkungan sungai, muara dan perairan pantai), dapat dilihat pada Tabel 21 dan 22.

Tabel 21. Pengaruh tipologi kota terhadap jumlah organik total (TOC) di sedimen

Tipologi Kota	Rerata Jumlah Organik Total (TOC) (%)
Metropolitan (Jakarta)	37.41 ± 8.132^a
Kota Besar (Semarang)	25.10 ± 13.027^b
Kota Kecil (Jepara)	23.98 ± 6.418^c

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

Tabel 22. Pengaruh kondisi lingkungan terhadap jumlah organik total (TOC) di sedimen

Kondisi Lingkungan	Rerata Jumlah Organik Total (TOC) (%)
Sungai	25.31 ± 14.359^a
Muara	28.98 ± 16.921^b
Perairan Pantai	28.63 ± 4.492^c

Sumber : Data Primer setelah Diolah, 2004

4.3. Pembahasan

4.3.1. Laju Biodegradasi Alamiah Koprostanol Ditinjau dari Tipologi Kota

Biodegradasi koprostanol di tinjau dari 3 (tiga) tipologi kota yaitu perairan Kota Jakarta (mewakili Kota Metropolitan), perairan Kota Semarang (mewakili Kota Besar) serta Kota Jepara (mewakili Kota Kecil).

Konsentrasi koprostanol selama waktu uji 40 hari terjadi fluktuasi konsentrasi yang naik turun pada masing-masing kondisi lingkungan (sungai, muara, dan perairan pantai) baik perairan Jakarta, Semarang maupun Jepara dengan perlakuan aerasi dan non aerasi. Hal ini dapat terjadi karena pengambilan sampel pada media dilakukan secara acak, tidak menetap pada satu titik saja, padahal konsentrasi koprostanol pada sedimen tidak homogen meskipun sedimen sudah dihomogenkan pada saat ditempatkan di akuarium. Menurut Barlett (1987) hal tersebut merupakan hal yang wajar terjadi karena pengambilan sampel pada media uji yang dilakukan secara acak. Hasil pengamatan biodegradasi menunjukkan bahwa pada akhir interval uji (hari ke-40) konsentrasi koprostanol mengalami penurunan, yakni lebih rendah daripada konsentrasi awal (hari ke-0) yang menunjukkan adanya proses biodegradasi.

Pada tipologi perairan kota metropolitan (Jakarta), laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada lingkungan perairan pantai ($0.324\text{--}0.505\ \mu\text{g/g/hari}$), disusul lingkungan perairan sungai ($0.009\text{--}0.103\ \mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di lingkungan muara ($0.0003\text{--}0.140\ \mu\text{g/g/hari}$).

Pada tipologi perairan kota besar (Semarang), laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada lingkungan perairan pantai ($0.151\text{--}0.413\ \mu\text{g/g/hari}$), disusul lingkungan perairan sungai ($0.034\text{--}0.096\ \mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di lingkungan muara ($0.004\text{--}0.031\ \mu\text{g/g/hari}$).

Pada tipologi perairan kota kecil (Jepara), laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada lingkungan muara ($0.209\text{--}0.456\ \mu\text{g/g/hari}$), disusul lingkungan perairan pantai ($0.194\text{--}0.319\ \mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di lingkungan sungai ($0.163\text{--}0.211\ \mu\text{g/g/hari}$).

Laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada lingkungan perairan pantai yang merupakan lingkungan yang paling jauh dari aliran atau sumber buangan limbah, hal ini disebabkan penelitian dilakukan pada musim penghujan dimana keberadaan koprostanol akan secara cepat terbawa air ke tempat yang paling jauh dari sumber buangan dan terdegradasi secara optimal. Pada penelitian terdahulu laju biodegradasi tertinggi terdapat pada lingkungan sungai yang merupakan daerah paling dekat dengan aliran atau sumber limbah buangan limbah, karena tidak adanya pengaruh air hujan sehingga limbah masih menumpuk di sungai.

Data penelitian laju biodegradasi alamiah koprostanol yang dilakukan pada musim kemarau adalah : a) laju biodegradasi koprostanol pada sedimen perairan Kota Jakarta, berturut-turut untuk sungai sebesar $0.102\ \mu\text{g/g/hari}$, diikuti muara sebesar $0.050\ \mu\text{g/g/hari}$, dan perairan pantai sebesar $0.012\ \mu\text{g/g/hari}$, b) laju biodegradasi koprostanol pada sedimen perairan Kota Semarang, berturut-turut untuk sungai sebesar $0.045\ \mu\text{g/g/hari}$, disusul perairan pantai sebesar $0.043\ \mu\text{g/g/hari}$, kemudian muara sebesar $0.0069\ \mu\text{g/g/hari}$, c) laju biodegradasi koprostanol pada sedimen perairan Kota Jepara, berturut-turut untuk sungai sebesar $0.047\ \mu\text{g/g/hari}$, disusul muara sebesar $0.045\ \mu\text{g/g/hari}$, dan perairan pantai sebesar $0.033\ \mu\text{g/g/hari}$ (Nadia, *Unpublish*)

Bachtiar (2002), menyatakan pada waktu musim penghujan, yang umumnya pada kondisi debit air sungai besar, dan kondisi laut sangat dinamik, pada kondisi ini pengaruh masukan air tawar ke perairan pantai menjadi dominan. Proses koagulasi akan terjadi optimum pada daerah perairan yang relatif lebih dalam jauh ke arah laut, hal ini menyebabkan proses pengendapan material organik bersama sedimen lempung langsung terjadi pada perairan yang relatif dalam, di samping itu endapan materi organik dan sedimen lempung yang mengendap di muara pada musim kemarau, akan mengalami resuspensi dan berpeluang untuk terangkut lebih jauh ke perairan yang lebih dalam pada musim penghujan. Pada musim kemarau, dimana debit air sungai yang masuk ke perairan kecil, proses koagulasi akan terjadi tidak jauh dari muara sungai dan kemudian dapat mengalami pengendapan. Hal ini karena pengaruh air tawar tidak jauh masuk ke laut, dan kondisi laut relatif tenang.

Untuk dapat berkembangbiak dan berfungsi dengan baik, suatu organisme membutuhkan sumber energi, senyawa organik untuk pembentukan sel baru, dan nutrien inorganik. (Metcalf dan Eddy 1991). Pada musim penghujan dimana banyak material organik yang terangkut lebih banyak ke dalam perairan yang lebih jauh yaitu ke laut, sehingga mikroorganisme berkembang lebih baik dan berpengaruh dalam meningkatkan laju biodegradasi koprostanol.

Dari analisis variansi yang diukur dari besarnya konsentrasi koprostanol, diketahui bahwa persintensi koprostanol di 3 (tiga) tipologi kota terdapat perbedaan sangat nyata ($F_{hitung} > F_{Tabel}$), pada perlakuan 0,10,20 dan 40 hari. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan tipologi kota akan sangat berpengaruh terhadap konsentrasi koprostanol. (Lampiran 9).

Faktor kepadatan penduduk di sekitar perairan menjadi penting diperhatikan untuk mengetahui konsentrasi koprostanol di perairan keterkaitannya dengan tingkat pencemaran di suatu perairan, mengingat terbentuknya koprostanol merupakan hasil reduksi dari kolesterol yang berada di feces (Walker, et al, 1982).

Dari analisis variansi yang diukur dari besarnya jumlah organik total (TOC) di sedimen perairan Kota Jakarta, Semarang dan Jepara, diketahui bahwa besarnya jumlah organik total (TOC) di ke 3 (tiga) tipologi kota terdapat perbedaan sangat nyata ($F_{hitung} > F_{Tabel}$). Hal ini menunjukkan bahwa

perbedaan tipologi kota sangat berpengaruh terdapat jumlah organik total di sedimen perairan. (Lampiran 10).

Jumlah penduduk yang lebih tinggi menyebabkan limbah domestik yang dibuang ke perairan juga lebih banyak, sementara limbah domestik kebanyakan merupakan material organik. Hasil penelitian menunjukkan jumlah organik total (TOC) rata-rata di perairan Jakarta tertinggi ($37.41 \pm 8.132\%$) dibandingkan perairan Semarang ($25.10 \pm 13.027\%$) dan perairan Jepara ($23.98 \pm 6.418\%$). (Tabel 21).

Hasil penelitian jenis sedimen, untuk perairan Kota Jakarta didominasi oleh sedimen lempung debuan, pada perairan Kota Semarang didominasi oleh sedimen lempung pasir, sedangkan pada perairan Kota Jepara didominasi oleh sedimen lempung debuan.

Kandungan TOC di perairan Kota Jakarta tertinggi, hal ini disebabkan karena pada perairan kota Jakarta didominasi sedimen lempung debuan yang merupakan ukuran paling halus dari sedimen. Semakin halus ukuran sedimen maka akan semakin meningkat kandungan organik total pada sedimen dan semakin meningkat pula konsentrasi koprostanol dalam sedimen perairan.

Dari hasil analisis statistik ada korelasi positif antara besarnya konsentrasi koprostanol dengan jumlah TOC, dengan koefisien korelasi sebesar 0,914. Ini berarti bahwa jumlah TOC berpengaruh terhadap besarnya konsentrasi koprostanol dengan tingkat signifikan 91,4%. Semakin besar jumlah TOC maka konsentrasi koprostanol akan semakin tinggi (Lampiran 11).

Sedimen terrigenous merupakan tipe sedimen yang paling melimpah, sesuai namanya sedimen ini berasal dari benua atau pulau yang berada di sekitarnya, kuarsa dan lempung adalah dua jenis sedimen laut yang paling sering ditemukan. (Garrison, 1993).

Dari data kualitas fisik rata-rata perairan perairan Jakarta adalah DO (3.73 mg/liter), suhu (31.73°C), PH (7,6), Kota Semarang adalah DO (2.55 mg/liter), suhu (31.43°C), PH (7.5), serta Kota Jepara DO (4.18 mg/liter), suhu (31.25°C), PH (7.2). Dapat dilihat bahwa kandungan DO Kota Jepara lebih tinggi daripada Kota Jakarta dan Semarang, hal ini disebabkan perairan Kota Jepara mempunyai pergolakan air lebih besar sehingga terjadi proses suplai oksigen lebih tinggi serta suhu perairan yang lebih rendah yang memungkinkan peningkatan kelarutan oksigen.

Oksigen terlarut dalam suatu perairan merupakan suatu parameter penting dalam suatu ekosistem perairan, karena sangat diperlukan untuk proses respirasi organisme perairan, pembentukan dan dekomposisi bahan organik. Konsentrasi oksigen dalam suatu perairan ditentukan oleh luas permukaan perairan yang berhubungan dengan atmosfer, pergolakan permukaan air dan kelarutan oksigen dalam air. Kelarutan oksigen dalam air ditentukan oleh suhu perairan, tekanan parsial oksigen di atmosfer dan salinitas perairan. Kelarutan oksigen akan menurun dengan meningkatnya suhu perairan (Bachtiar, 2002)

4.3.2. Laju Biodegradasi Alamiah Koprostanol Ditinjau dari Kondisi Lingkungan

Biodegradasi koprostanol di 3 (tiga) kondisi lingkungan yaitu Sungai, Muara, dan Perairan Pantai. Pada kondisi lingkungan sungai, laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada perairan kota kecil (Jepara) sebesar (0.163–0.211 $\mu\text{g/g/hari}$), disusul lingkungan perairan kota metropolitan (Jakarta) sebesar (0.009–0.103 $\mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di perairan kota Besar (Semarang) sebesar (0.034–0.096 $\mu\text{g/g/hari}$).

Pada kondisi lingkungan muara, laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada perairan kota kecil (Jepara) sebesar (0.209–0.456 $\mu\text{g/g/hari}$), disusul lingkungan perairan kota metropolitan (Jakarta) sebesar (0.0003–0.140 $\mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di perairan kota Besar (Semarang) sebesar (0.003–0.031 $\mu\text{g/g/hari}$).

Pada kondisi lingkungan perairan pantai, laju biodegradasi koprostanol tertinggi terdapat pada perairan kota metropolitan (Jakarta) sebesar (0.324–0.505 $\mu\text{g/g/hari}$), disusul lingkungan perairan kota Besar (Semarang) sebesar (0.151–0.413 $\mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di perairan kota Kecil (Jepara) sebesar (0.194–0.319 $\mu\text{g/g/hari}$).

Laju biodegradasi koprostanol tertinggi pada kota kecil (Jepara) pada kondisi lingkungan sungai dan muara, hal ini disebabkan pada lingkungan kota kecil menghasilkan limbah-limbah *toksik* yang bisa mematikan mikroorganisme pendegradasi masih dalam batas yang dapat ditoleransi, sehingga tidak mengganggu proses degradasi koprostanol yang dilakukan oleh mikroorganisme. Sedangkan pada kondisi lingkungan perairan pantai laju biodegradasi koprostanol tertinggi pada lingkungan kota metropolitan (Jakarta). Hal ini dimungkinkan bahwa pada lingkungan perairan pantai yang merupakan lingkungan yang paling

jauh dari sumber limbah, pengaruh adanya limbah *toksik* yang mematikan mikroorganisme pendegradasi sudah lebih rendah daripada lingkungan yang dekat dengan sumber limbah.

Menurut Suriawirya (1996) waktu yang dibutuhkan serta persen kandungan dari tiap-tiap senyawa yang dihasilkan selama proses biodegradasi dapat cepat atau lambat tergantung pada persyaratan lingkungan yang menyertainya. Selama proses berlangsung, metabolisme penguraian oleh bakteri ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah nutrien, jumlah oksigen, suhu dan PH. Selanjutnya dinyatakan bahwa kondisi aerobik maupun anaerobik berperan dalam menentukan di dalam tahap-tahap proses biodegradasi, tanpa kehadiran oksigen tidak menghambat penguraian senyawa organik.

Jeng dan Han (1996) menyatakan bahwa koprostanol akan terdegradasi di bawah kondisi aerob. Barlett (1987) dan Dutka (1974) menyatakan bahwa biodegradasi koprostanol telah diketahui melibatkan beberapa bakteri dan terjadi di bawah kondisi aerob.

Barlet (1987) dalam penelitiannya tentang laju biodegradasi koprostanol pada beberapa sistem perairan secara alamiah, dengan media uji a) lumpur limbah domestik, b) lumpur limbah domestik yang diencerkan 19 kali dengan air laut dan c) sedimen buatan (pasir bersih : lumpur limbah domestik, 4 : 1) yang ditempatkan pada tangki dengan air yang mengalir dan air yang statis, hasil yang diperoleh konsentrasi koprostanol pada lumpur limbah domestik berkurang menjadi kurang dari 15% dari konsentrasi awal setelah 30 hari, sedangkan pada sedimen buatan konsentrasi koprostanol secara prinsip tidak berubah setelah 54 hari. Ini menunjukkan bahwa koprostanol mengalami proses biodegradasi.

Bachtiar (2002), dalam penelitiannya mendapatkan koprostanol pada sedimen yang tua, temuan ini menunjukkan bahwa laju biodegradasi di alam lebih lambat dibandingkan masuknya koprostanol di alam, dan diduga koprostanol pada konsentrasi tertentu tidak mengalami degradasi.

Menurut Jeng dan Han (1994) keberadaan koprostanol dipengaruhi oleh jarak dari aliran buangan, tanpa keberadaannya molekul oksigen, kedalaman perairan dan pasang surut. Distribusi koprostanol juga dipengaruhi oleh faktor-faktor ukuran butir sedimen, TOC, kondisi topografi perairan, kondisi hidrodinamika perairan, aktifitas manusia dan sumber limbah lain.

Menurut Jeng dan Han (1996) tinggi rendahnya konsentrasi koprostanol menunjukkan adanya hidrogenasi yang terjadi di permukaan yang dipengaruhi oleh : sumber masukan limbah, laju degradasi dan jumlah produksi lebih besar dari degradasi. Selanjutnya dinyatakan bahwa distribusi tinggi rendahnya koprostanol dipengaruhi oleh percampuran koprostanol dengan sedimen yang tidak terkontaminasi atau sedimen yang mengandung koprostanol yang rendah, percampuran koprostanol dengan sterol biogenik lain dan adanya degradasi koprostanol.

Dari analisis variansi yang diukur dari besarnya konsentrasi koprostanol diketahui bahwa persintensi koprostanol di 3 (tiga) kondisi lingkungan terdapat perbedaan sangat nyata ($F_{hitung} > F_{Tabel}$), pada perlakuan 0,10,20 dan 40 hari. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan kondisi lingkungan akan sangat berpengaruh terhadap konsentrasi koprostanol. (Lampiran 9).

Dari analisis variansi yang diukur dari besarnya jumlah organik total (TOC) di sedimen lingkungan sungai, muara dan perairan pantai, diketahui bahwa besarnya jumlah organik total (TOC) di ke 3 (tiga) kondisi lingkungan terdapat perbedaan sangat nyata ($F_{hitung} > F_{Tabel}$). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan kondisi lingkungan sangat berpengaruh terdapat jumlah organik total di sedimen perairan. (Lampiran 10).

Hasil penelitian menunjukkan jumlah organik total (TOC) rata-rata di kondisi lingkungan Muara tertinggi ($28.98 \pm 16.921\%$) dibandingkan kondisi lingkungan perairan pantai ($28.63 \pm 4.492\%$) dan kondisi lingkungan Sungai ($25.31 \pm 14.359\%$). (Tabel 22).

Hasil penelitian jenis sedimen, untuk kondisi lingkungan sungai didominasi oleh sedimen lempung pasir, pada kondisi lingkungan Muara didominasi oleh sedimen lempung pasir, sedangkan pada kondisi lingkungan perairan pantai didominasi oleh sedimen lempung debuan.

Kondisi perairan dengan sedimen lempung pasir akan mempunyai besaran TOC di sedimen relatif rendah sehingga konsentrasi koprostanol di sedimen rendah, sedangkan pada kondisi perairan dengan sedimen lempung debuan akan mempunyai besaran TOC di sedimen relatif tinggi sehingga konsentrasi koprostanol di sedimen juga lebih besar. Pada lingkungan perairan pantai, yang jauh dari muara dengan jenis sedimen yang didominasi oleh sedimen lempung debuan, namun mempunyai konsentrasi koprostanol relatif

rendah, hal ini disebabkan oleh proses pengadukan sedimen oleh gelombang laut yang sangat dinamik karena pengaruh musim penghujan serta TOC juga relatif rendah.

Menurut McDowell dan O'Connor (1977) bahwa partikel lempung (*Clay*) dikelompokkan menjadi partikel yang paling halus sehingga dinamika atau sebaran pada perairan laut lebih tinggi dibandingkan dengan partikel debu dan pasir. Berkurangnya konsentrasi koprostanol di perairan pantai akibat teradsorsinya koprostanol pada material lempung yang mengendap di lingkungan sungai dan muara.

Limbah domestik merupakan material organik dan teradsorpsi pada sedimen lempung, sehingga pola penyebaran limbah domestik pada suatu perairan pantai dapat diketahui berdasarkan pola penyebaran sedimen dasar perairan. Hakanson dan Jansson (1983), menyatakan bahwa untuk dapat mengetahui kondisi lingkungan pada suatu perairan, sedimen dasar perairan dapat berperan sebagai bank informasi. Dijelaskan pula oleh Coakley dan Poulton (1991) bahwa analisis sedimen akan sangat bermanfaat untuk merunut transpor sedimen terkontaminasi, sedangkan menurut Bachtiar (2002) koprostanol lebih teradsorpsi pada lempung (*Clay*).

Dari data kualitas fisik rata-rata kondisi lingkungan Sungai adalah DO (1.87 mg/liter), suhu (31.73°C), PH (7,3), kondisi lingkungan Muara adalah DO (3.71 mg/liter), suhu (32.43°C), PH (7.4), serta kondisi lingkungan perairan pantai (3.48 mg/liter), suhu (31.13°C), PH (7.4). Dapat dilihat bahwa kandungan DO lingkungan Muara lebih tinggi daripada lingkungan perairan pantai dan kondisi lingkungan sungai, hal ini disebabkan pada kondisi lingkungan Muara mempunyai pergolakan air lebih besar sehingga terjadi proses suplai oksigen lebih tinggi serta pengaruh musim penghujan .

Dari analisis variansi yang diukur dari besarnya konsentrasi koprostanol diketahui bahwa persintensi koprostanol di ke-2 (dua) perlakuan aerasi dan non aerasi tidak berbeda nyata ($F_{hitung} < F_{Tabel}$), pada perlakuan 0,10,20 dan 40 hari. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan baik aerasi dan non aerasi tidak akan berpengaruh terhadap konsentrasi koprostanol. (Lampiran 9).

Perlakuan Aerasi dan Non Aerasi dilakukan agar stasiun mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan, dimana di perairan laut banyak faktor yang

berpengaruh terhadap kondisi perairan seperti angin serta gelombang pasang surut.

Laju biodegradasi koprostanol pada kondisi perlakuan Aerasi lebih tinggi daripada non aerasi, hal ini menunjukkan dengan adanya pengadukan pada kolom air akan meningkatkan laju biodegradasi koprostanol, dan mencerminkan bahwa pada kondisi perairan laut yang dinamik akan cenderung mempunyai laju biodegradasi koprostanol lebih tinggi daripada kondisi perairan laut yang tenang.

4.3.4. Potensi Koprostanol sebagai Indikator Alternatif

Coakley dan Long (1990), mempersyaratkan suatu indikator pencemaran menjadi tiga, seperti : a) mempunyai hubungan yang spesifik dengan sumber tertentu, b) dapat ditentukan secara kuantitatif, dan c) bersifat cukup konservatif.

Sumber spesifik koprostanol telah banyak diteliti, dan beberapa peneliti menyatakan bahwa koprostanol berasal dari faeces manusia (Marcet, 1800; Walker *et al*, 1982; Bondzynski dan Humnicki, 1896). Selain itu koprostanol juga dihasilkan secara spesifik oleh hewan mamalia, seperti orangutan, kera, babi, domba, sapi dan binatang pengerat, namun koprostanol tidak dihasilkan oleh biota laut dan unggas kecuali ayam (Walker *et al*, 1982).

Laju biodegradasi koprostanol hasil penelitian berdasarkan tipologi kota, Kota metropolitan (Jakarta) sebesar $(0.171 \pm 0.167 \text{ } \mu\text{g/g/hari})$, Kota Besar (Semarang) sebesar $(0.135 \pm 0.149 \text{ } \mu\text{g/g/hari})$, dan Kota Kecil (Jepara) sebesar $(0.256 \pm 0.082 \text{ } \mu\text{g/g/hari})$. Selanjutnya laju biodegradasi koprostanol pada kondisi lingkungan sungai $(0.107 \pm 0.062 \text{ } \mu\text{g/g/hari})$, Muara $(0.123 \pm 0.494 \text{ } \mu\text{g/g/hari})$, dan Perairan Pantai $(0.331 \pm 0.092 \text{ } \mu\text{g/g/hari})$. Laju biodegradasi alamiah koprostanol berjalan cukup lambat sehingga bersifat cukup konservatif sebagai indikator kontaminasi limbah domestik.

Hatcher *et al* (1977) menyatakan bahwa keberadaan sterol fekal koprostanol di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah domestik. Demikian pula menurut Bachtar *et al* (1999) yang menyatakan dengan sangat spesifiknya sumber koprostanol tersebut, keberadaan koprostanol di alam dapat digunakan sebagai indikasi kontaminasi limbah domestik.

BAB V.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian tentang laju biodegradasi alamiah koprostanol yang dilakukan pada kondisi lingkungan sungai, muara dan perairan pantai dengan tipologi kota yang bervariasi (Jakarta, Semarang dan Jepara) pada Musim Penghujan, dapat disimpulkan :

- a) Laju biodegradasi alamiah koprostanol ditinjau dari tipologi kota : Perairan Kota metropolitan (Jakarta), tertinggi pada kondisi lingkungan perairan pantai ($0.324-0.505 \mu\text{g/g/hari}$), disusul kondisi lingkungan sungai ($0.009-0.103 \mu\text{g/g/hari}$), dan terendah kondisi lingkungan muara ($0.0003-0.140 \mu\text{g/g/hari}$). Perairan Kota Besar (Semarang), tertinggi pada kondisi lingkungan perairan pantai ($0.151-0.413 \mu\text{g/g/hari}$), disusul kondisi lingkungan sungai ($0.034-0.096 \mu\text{g/g/hari}$), dan terendah kondisi lingkungan muara ($0.004-0.031 \mu\text{g/g/hari}$). Perairan Kota Kecil (Jepara), tertinggi pada kondisi lingkungan muara ($0.209-0.456 \mu\text{g/g/hari}$), disusul kondisi lingkungan perairan pantai ($0.194-0.319 \mu\text{g/g/hari}$), dan terendah kondisi lingkungan sungai ($0.163-0.211 \mu\text{g/g/hari}$).
- b) Laju biodegradasi alamiah koprostanol ditinjau dari kondisi lingkungan : Kondisi lingkungan sungai, tertinggi pada perairan kota kecil (Jepara) sebesar ($0.163-0.211 \mu\text{g/g/hari}$), disusul perairan kota metropolitan (Jakarta) ($0.009-0.103 \mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di perairan kota Besar (Semarang) ($0.034-0.096 \mu\text{g/g/hari}$). Kondisi lingkungan muara, tertinggi pada perairan kota kecil (Jepara) sebesar ($0.209-0.456 \mu\text{g/g/hari}$), disusul perairan kota metropolitan (Jakarta) ($0.0003-0.140 \mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di perairan kota Besar (Semarang) ($0.003-0.031 \mu\text{g/g/hari}$). Kondisi lingkungan perairan pantai, tertinggi pada perairan kota metropolitan (Jakarta) sebesar ($0.324-0.505 \mu\text{g/g/hari}$), disusul perairan kota Besar (Semarang) ($0.151-0.413 \mu\text{g/g/hari}$), sedangkan yang paling lambat terjadi di perairan kota Kecil (Jepara) ($0.194-0.319 \mu\text{g/g/hari}$).
- c) Koprostanol persisten pada tiga kondisi lingkungan, dengan tingkat persistensi tertinggi pada kondisi lingkungan sungai dengan laju biodegradasi koprostanol sebesar ($0.107 \pm 0.062 \mu\text{g/g/hari}$), kemudian kondisi lingkungan

muara dengan laju biodegradasi koprostanol sebesar $(0.123 \pm 0.494 \mu\text{g/g/hari})$, dan disusul kondisi lingkungan perairan sungai dengan laju biodegradasi koprostanol sebesar $(0.331 \pm 0.092 \mu\text{g/g/hari})$. Koprostanol persisten pada tiga tipologi kota, dengan tingkat persistensi tertinggi pada tipologi kota besar (Semarang), dengan laju biodegradasi koprostanol sebesar $(0.135 \pm 0.149 \mu\text{g/g/hari})$, disusul tipologi kota metropolitan (Jakarta), dengan laju biodegradasi koprostanol sebesar $(0.171 \pm 0.167 \mu\text{g/g/hari})$, dan tipologi kota kecil (Jepara), dengan laju biodegradasi koprostanol sebesar $(0.256 \pm 0.082 \mu\text{g/g/hari})$.

5.2. Saran

Koprostanol sangat berpotensi sebagai alternatif indikator kontaminasi limbah domestik di lingkungan perairan pantai perkotaan di Indonesia karena mempunyai tingkat persistensi yang tinggi, dengan laju biodegradasi oleh bakteri pendegradasi koprostanol sangat lambat, pada lingkungan daerah yang lebih baik bagi kehidupan bakteri pendegradasi koprostanol daripada di daerah lintang tinggi, dimana koprostanol sudah menjadi alternatif indikator.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, T, 2002, *Koprostanol sebagai Indikator dan Perunut alamiah Limbah Domestik di Perairan Pantai Banjir Kanal Timur Semarang*, Disertasi Doktor, Departemen Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
- Barlett, P.D, 1987, Degradation of Coprostanol in an Experimental System, *Marine Pollution Buletin*, 18 (1) 27-29.
- Chan, K. H., M.H.W. Lam, and K.F. Poon, 1998, Application of Sedimentary Fecal Stanol and Sterols in Tarcing Sewage Pollution in Coastal Waters, *Wat. Res.*32 (1) 225-235.
- Coakley, J.P. and D. J. Poulton, 1991, Tracer for Fine Sediment Transport in Humber Bay, Lake Ontario, *J. Great Lake. Res.* 17:289-303.
- Coakley, J.P. and B.F.N. Long, 1990, Tarcing The Movement of Fine Grained Sediment in Aquatic Systems : a Literature Review. Inland Water Directorate (Envir.Canada) *Scientific Series* 174, 21 p.
- Dutka, B.J., A.S.Y.Chau, and J. Coburn, 1974, Relationship between Bacterial Indicators of Water Pollution and Fecal Steroids. *Water Res.* 8, 1047-1055.
- Garrison, T, 1993, *Oceanography : an Invitation to Marine Science*. Wadworth Publishing Comp. Belmont California, 540 pp.
- Hakanson, L. and M. Jansson, 1983, *Principles of Lake Sedimentology*. Springer-Verlag, 316p.
- Hatcher., P.G. and P. A. McGillivray, 1979, Sewage Contamination in The New York Bight : Coprostanol as an Indicator. *Environ. Sci. Technol*, 13, 1225-1229.
- Hatcher, P.G., L.E. Keister, and P.A. McGillivray, 1977, Steroids as Sewage Specific Indicators in New York Bight Sediment, *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 17:491-498.
- Holme, NA. And A.D. McIntyre, 1984, *Methods For The Study of Marine Benthos* 2nd edition. Blackwell Scientific Publication. Oxford.
- Jeng W.L., J.Wang and B. C.Hang, 1996, Coprostanol Distribution in Marine Sediments off Southwestern Taiwan. *Environ. Poll.*, 94 (1). 47-52.
- Jeng, W.L., and B.C. Han, 1994, Sedimentary Coprostanol in Kaoshiung Harbour and The Tan Sui Estuary, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin.*, 28:494-499.
- Kichmer, C. J, 1971, *5 Beta Cholestan-3. Beta-ol An Indicator of Fecal Pollution*, Disertasi Ph.D. The University of Florida.
- Kramer, K.J.M., U.H. Brockmann, R.M. Warwick, 1994, *Tidal Estuaries: Manual of Sampling and Anatytical Procedurs.*, A.A. Balkema, Rotterdam. Brookfield.

- Lakitan. B., 2002, *Dasar-dasar Klimatologi*, PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- McDowell, M.D. and B.A. O' Connor, 1977, *Hydraulic Behaviour of Estuaries*. The Macmillan Press Ltd. London.
- Metcalf and Eddy. Inc, 1991, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 3rd ed., Revised by G. Tchobanoglous and F.L. Burton, McGraw-Hill, Singapore.
- Pamdey, G.N. and G.C. Carney, 1991, *Environmental Engineering*. Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Sastrawijaya AT, 1991, *Pencemaran Lingkungan*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Supriharyono, 2000, *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Suriawirya U, 1996, *Mikrobiologi Air*. Alumni. Bandung.
- Suryabrata, S, 1993, *Metodologi Penelitian*. Rajawali Press. Jakarta
- Switzer-Howse, K.D. and Dutka, B.J, 1978, Fecal Sterol Studies: Samples Processing and Microbial Degradation, *Scientific series* No. 89, National Water Research Institute, Canada Centre for Inland waters, Burlington, Ontario.
- Takada, Hideshige, 2001, *Coastal Ecology, Nutrient Cycles and Pollution*. Tokyo University of Agriculture and Technology. Tokyo.
- Tjasyono. B, 1986, *Iklim dan Lingkungan*. Penerbit Cendekia Jaya Utama . Jakarta.
- Vivian, C.M.G, 1986, *Tracers of Sewage Sludge in The Marine Environment : A Review*. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Walker, R.W., C.K. Wun. And W. Litsky, 1982, *Coprostanol as an Indicator of Fecal Pollution*, Paper No. 2402, Massachusetts Agriculture Experiment Station, University of Massachusetts, Amherst.
- Widodo, S, 2003, *Petunjuk Praktikum Sedimentologi*. Ilmu Kelautan Undip. Semarang.